Aus der Abteilung Pädiatrische Kardiologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. J. Apitz
der Kinderklinik der Universität Tübingen

Echokardiographische Funktionsdiagnostik bei Kindern mit Links-Rechts-Shunt-Vitien mit und ohne pulmonale Hypertonie

INAUGURAL—DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
DIETER BÖNHOF
aus Crailsheim

1984

UNIV.
LIBRARY
LEEDS

Aus der Abteilung Pädiatrische Kardiologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. J. Apitz
der Kinderklinik der Universität Tübingen

Echokardiographische Funktionsdiagnostik bei Kindern mit Links-Rechts-Shunt-Vitien mit und ohne pulmonale Hypertonie

INAUGURAL—DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
DIETER BÖNHOF
aus Crailsheim

1984

Dekan:	Professor Dr. D. Plester
1. Berichterstatter:	Privatdozent Dr. A. A. Schmaltz
2. Berichterstatter:	Professor Dr. R. Haasis

Gedruckt bei H.- J. Köhler · Reprografischer Betrieb · Tübingen

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG 1

2. METHODIK 2
2.1. Patienten 2
2.1.A. Kollektiv A 2
2.1.B. Kollektiv B 2
2.2. Echokardiographie 6
2.3. Echokardiogrammauswertung 6
2.3.A. Kollektiv A 6
2.3.B. Kollektiv B 8
2.4. Statistik 14
2.4.A. Kollektiv A 14
2.4.B. Kollektiv B 14

3. ERGEBNISSE 16
3.A. Ergebnisse des Kollektivs A 16
3.B. Ergebnisse des Kollektivs B 19
3.B.1. Die LV-Durchmesser: LVEDD, LVDe und LVESD 19
3.B.2. Die Zeitverhältnisse im linken Ventrikel: ZD, t_{LVDe}, t_{LVESD}, t_{Vcfmax} und t_{LRmax} 23
3.B.2.1. Die Zyklusdauer (ZD) 23
3.B.2.2. Die Zeitpunkte des maximalen (LVDe) und des minimalen Durchmessers (LVESD): t_{LVDe} und t_{LVESD} 23
3.B.2.3. Die Zeitpunkte der Vcf_{max} und der LR_{max}: t_{Vcfmax} und t_{LRmax} 29
3.B.3. Schematische Darstellung des LV-Kontraktionsablaufs 32
3.B.4. Die Kontraktilitätsindizes: SF, Vcf_{max}, LR_{max} und Vcf_{mean} 34
3.B.4.1. Die Shortening Fraction (SF) 34
3.B.4.2. Die maximale zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max}) 36
3.B.4.3. Die maximale Lengthening Rate (LR_{max}) 38

3.B.4.4. Die mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean}) 40

3.B.5. Die Korrelationen der Vcf_{max} mit der Vcf_{mean} und der HF 43

3.B.5.1. Die Korrelation der maximalen und der mittleren Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max} gegen Vcf_{mean}) 43

3.B.5.2. Die Korrelation der Vcf_{max} und der Herzfrequenz 45

4. DISKUSSION 47

4.A. Diskussion zum Kollektiv A 47

4.B. Diskussion zum Kollektiv B 50

4.B.1. LV-Durchmesser 51

4.B.2. Zeitverhältnisse 53

4.B.2.1. Die Zyklusdauer 53

4.B.2.2. + 3. Die Zeitpunkte im Zyklus (t_{LVDe}, t_{LVESD}, t_{Vcfmax} und t_{LRmax}) 54

4.B.3. Die schematische Darstellung des LV-Kontraktionsablaufs 55

4.B.4. Kontraktilitätsindizes 56

4.B.4.1. Die Shortening Fraction (SF) 60

4.B.4.2. Die maximale zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max}) 61

4.B.4.3. Die maximale Lengthening Rate (LR_{max}) 63

4.B.4.4. Die mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean}) 64

4.B.5. Korrelationen der Vcf_{max} mit der Vcf_{mean} und der HF 67

4.B.5.1. Die Korrelation der Vcf_{max} gegen die Vcf_{mean} 67

4.B.5.2. Die Korrelation der Vcf_{max} gegen die HF 68

5. ZUSAMMENFASSUNG 69

6. ANHANG 71

6.1. Tabellen: Tabelle 1 (Kollektiv A) 71

Tabelle 2 (Kollektiv B) 73

6.2. Literaturverzeichnis 77

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ASD	: Septumdefekt auf Vornofebene
AVC	: atrio-ventrikulärer Kanal
EFE	: Endokardfibroelastose
EN	: Endokard
ET	: Ejection Time
HF	: Herzfrequenz
HLHS	: hypoplastisches Linksherzsyndrom
IStA	: Isthmusstenose der Aorta
LS	: linke Septumseite
LR_{max}	: maximale Lengthening Rate
LV	: linker Ventrikel, linksventrikulär
LVDe	: maximaler Durchmesser (erster im Zyklus)
LVEDD	: enddiastolischer Durchmesser, zu Beginn des QRS-Komplexes
LVESD	: endsystolischer, minimaler Durchmesser
N	: Normalbefund
p	: statistische Irrtumswahrscheinlichkeit
PA	: Pulmonalarterie
PADP	: diastolischer PA-Druck
$\overline{PAP}$	: mittlerer PA-Druck
PASP	: systolischer PA-Druck
PDA	: offener Ductus Botalli
PH	: pulmonale Hypertonie
r	: Korrelationskoeffizient
RPEP	: rechtsventrikuläre Pre Ejection Period
RSB, kompl	: kompletter Rechtsschenkelblock
RVET	: rechtsventrikuläre Ejection Time
RVSTI/STI	: (rechtsventrikuläre) systolische Zeitintervalle
SD	: Standardabweichung
SE/SEM	: Standardfehler (des Mittelwertes)
SF	: Shortening Fraction

TGA	: Transposition der grossen Gefässe
t_{LRmax}	: Zeitpunkt der LR_{max}
t_{LVDe}	: Zeitpunkt der LVDe
t_{LVESD}	: Zeitpunkt der LVESD
t_{Vcfmax}	: Zeitpunkt der Vcf_{max}
V_{max}	: Maximalgeschwindigkeit der lastfreien Verkürzung
Vcf_{max}	: maximale zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit
Vcf_{mean}	: mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit
VSD	: Ventrikelseptumdefekt
VSDAVC	: Links-Rechts-Shunt bei AVC und VSD
ZD	: Zyklusdauer

1. EINLEITUNG

Die Echokardiographie, 1954 von Edler und Hertz eingeführt, ist als nichtinvasive Methode zu einem wichtigen Bestandteil in der Diagnostik von Herzerkrankungen und Herzfehlern geworden (H. Feigenbaum, P.N.T. Wells (Hrsg.)). Vor allem hat sich die M-mode-Echokardiographie als nützliche Methode zur Bestimmung der systolischen Zeitintervalle und zur Beurteilung der linksventrikulären Dimensionen und Funktionen erwiesen (18;33;1;2;8;9;10;21;22;28;29;41;52). Die Auswertung der Echokardiogramme kann durch Computer erleichtert werden, zusätzliche Möglichkeiten zur Untersuchung der verschiedenen Parameter lassen sich erschliessen (20;30;40).
In dieser Studie werden zunächst an einem ersten Kollektiv junger Kinder die Möglichkeit der echokardiographischen Bestimmung der Pulmonalarteriendruckwerte mittels der rechtsventrikulären systolischen Zeitintervalle überprüft (12;17;25;38;48;49).
Dann werden bei einem zweiten Kollektiv die linksventrikulären Parameter wie Durchmesser, Zeitverhältnisse und Kontraktilitätsindizes mittels einer computergestützten Auswertung von M-mode-Echokardiogrammen bestimmt. Diese Echokardiogramme stammen von Kindern mit Links-Rechts--Shunt-Vitien ohne pulmonaler Hypertonie, von Kindern mit Links-Rechts-Shunt-Vitien mit pulmonaler Hypertonie und von Kindern mit normalen Herzbefunden. Untersucht werden die linksventrikulären Parameter auf Veränderungen hin, die auf Grund der geänderten Hämodynamik (z.B. reduziertes Afterload) bewirkt werden (3;35;42;46).
Es wird der Fragestellung nachgegangen, in wie weit die M-mode-Echokardiographie bei der Diagnostik und der Verlaufskontrolle dieser kongenitalen Herzvitien eingesetzt und damit das Risiko invasiver Methoden vermieden werden kann (47).

UNIV. LEIDEN KLIN.

2. METHODIK

2.1. Patienten

Es wurden zwei verschiedene Patientenkollektive, Kollektiv A und Kollektiv B, untersucht. Vierzehn Patienten sind in beiden Kollektiven vertreten.

2.1.A. Kollektiv A

Siebzig junge Patienten mit Herzfehlern wurden ausgewählt, bei denen innerhalb eines Monats echokardiographisch die rechtsventrikulären systolischen Zeitintervalle (RVSTI) (bei einer Transposition der grossen Gefässe (TGA): die linksventrikulären systolischen Zeitintervalle (12;24)) und durch Herzkatheteruntersuchung die Pulmonalarterien-druckwerte bestimmt worden waren. Am Tag der echokardio-graphischen Untersuchung waren die Kinder zwischen 1 Tag und 18 Jahren alt (der Median liegt bei 1 Monat 22 Tage). Dieses Kollektiv wurde in drei Gruppen unterteilt:

I: Patienten (n = 45) mit einem Vorhofseptumdefekt (ASD), einem Ventrikelseptumdefekt (VSD), einem atrio--ventrikulären Kanal (AVC), einem offenen Ductus Botalli (PDA) oder mit einer Transposition der grossen Gefässe (TGA);

II: Patienten (n = 11) mit einer Isthmusstenose der Aorta (IStA) oder einem hypoplastischen Linksherzsyndrom (HLHS);

III: Patienten (n = 14) mit einem kompletten Rechts-schenkelblock (kompl. RSB) oder einer Endokardfibro-elastose (EFE).

2.1.B. Kollektiv B

Das zweite Patientenkollektiv besteht aus 42 Kindern mit Links-Rechts-Shunt-Vitien. Davon haben 17 Kinder einen Ventrikelseptumdefekt (VSD), 6 einen atrio-ventrikulären Kanal (AVC), 7 einen Ventrikelseptumdefekt mit pulmonaler Hypertonie (VSD + PH) und 12 einen atrio-ventrikulären Kanal mit pulmonaler Hypertonie (AVC + PH).

Die Patienten mit einem VSD oder einem AVC wurden in der Gruppe VSDAVC und die Patienten mit einem VSD + PH oder einem AVC + PH wurden in der Gruppe PH untersucht.
Die pulmonale Hypertonie wurde an Hand der Pulmonalarteriendrucke, besonders des diastolischen Werts, sowie der Flowverhältnisse (Qp/Qs) und des Widerstandsquotienten (Rp/Rs) festgestellt.
Die Echokardiographie und die Herzkatheteruntersuchung wurden innerhalb eines Monats durchgeführt, der Abstand zwischen beiden Untersuchungen betrug maximal 27 Tage, im Mittel waren es 4,3 Tage.
Das Alter dieser Kinder lag zwischen 12 Tagen und 18 Jahren.
Ausserdem wurden 63 herzgesunde Kinder als Normalbefundgruppe (Gruppe N) mit herangezogen. Die Auswahl war mittels des klinischen und echokardiographischen Befundes vorgenommen worden. Hier lag das Alter zwischen 3 Tagen und 9 Jahren.
Diese Gruppen wurden in zwei Altersklassen unterteilt, in eine Altersklasse jünger als ein Jahr (< 1 Jahr) und in eine Altersklasse älter als ein Jahr (> 1 Jahr) (diese Unterteilung wurde durch die statistische Auswertung bestätigt);
daraus ergab sich folgende Häufigkeitsverteilung:

Anzahl (n)	< 1 Jahr	> 1 Jahr	gesamt
N	21	42	63
VSDAVC	9	14	23
PH	10	9	19
	40	65	105

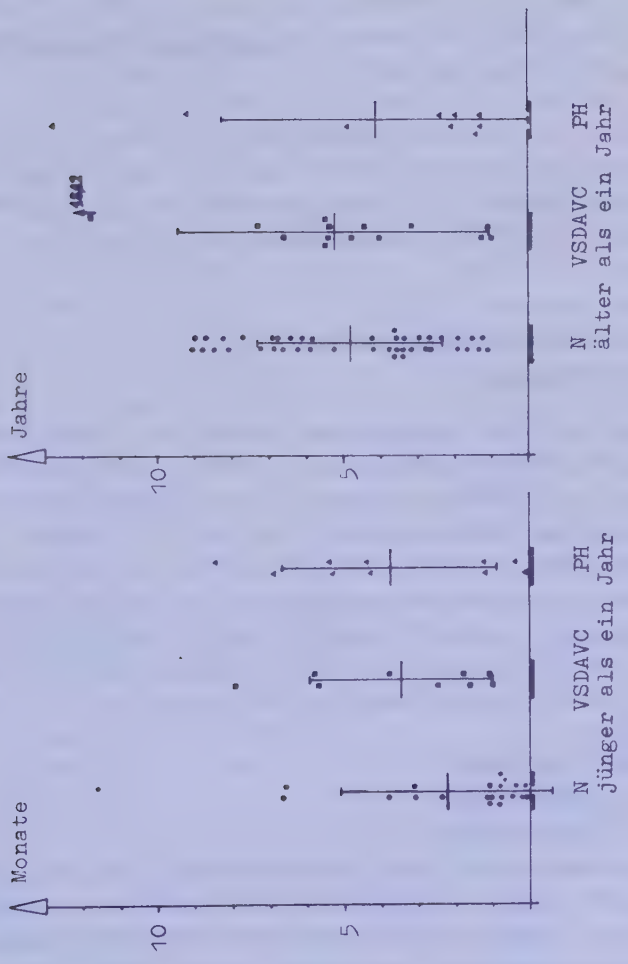
siehe auch Tabelle 1 und Abbildung 1 zur Häufigkeits- und Altersverteilung.
Die Patienten mit Vitien und vorbestehenden latenten Herzinsuffizienzzeichen waren digitalisiert (s.S.76: 6.1. Tab.2), manifeste Herzinsuffizienz war jedoch ein Ausschlusskriterium.

Tabelle 1 : Anzahl, Alter, Herzfrequenz (HF) und Körperoberfläche (KOF) in den Gruppen des Kollektivs B

Mittelwert und (Standardabweichung)

	Anzahl	Alter	HF (min^{-1})	KOF (m^2)
jünger als ein Jahr		Monate		
N :	21	2,23	141,62 (15,33)	0,234 (0,053)
VSDAVC :	9	3,45	142,11 (13,17)	0,268 (0,050)
PH :	10	3,77	137,70 (8,97)	0,247 (0,046)
älter als ein Jahr		Jahre		
N :	42	4,82	98,21 (22,65)	0,742 (0,220)
VSDAVC :	14	5,26	102,71 (20,77)	0,720 (0,253)
PH :	9	4,16	121,33 (21,07)	0,567 (0,230)

Abbildung 1: Altersverteilung in den Gruppen des Kollektivs B



2.2. Echokardiographie

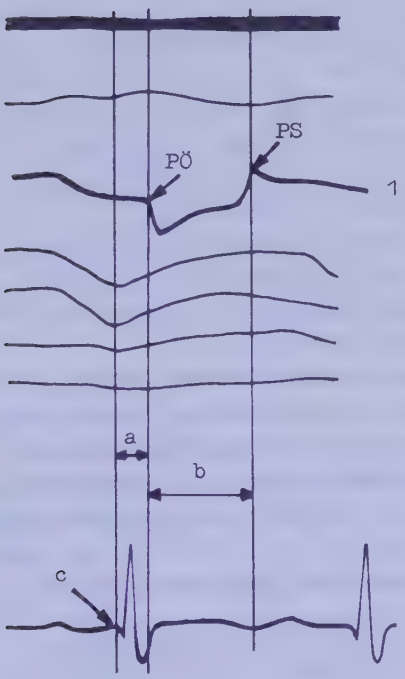
Die Echokardiogramme wurden mit einem Picker Echoview System 80 C in M-mode-Technik bei einer Papiergeschwindigkeit von 100 mm/sec aufgenommen. Es wurden Transducer mit 3,5 MHz, 13 mm Durchmesser und Fokus "medium" sowie mit 5 MHz, 6 mm Durchmesser und Fokus "short" in der Standardposition verwendet. Beim Patientenkollektiv A wurde auf eine gute Darstellung der Pulmonalklappe, besonders der hinteren Klappentasche, geachtet. Beim Kollektiv B wurde der Schallstrahl, bei guter Darstellung des Interventrikularseptums und der Herzhinterwand, im Bereich der Mitralklappe durch den linken Ventrikel gelegt.

2.3. Echokardiogrammauswertung

2.3.A. Kollektiv A

Auf den Echokardiogrammen des Kollektivs A wurde, mit Hilfe des simultangeschriebenen EKGs, an der Pulmonalklappe (hintere Klappentasche) die rechtsventrikulären systolischen Zeitintervalle, "Pre-Ejection-Period" (RPEP) und "Ventrikular-Ejection-Time" (RVET), manuell bestimmt. Als RPEP wurde die Zeitspanne zwischen dem Beginn des QRS-Komplexes und der Pulmonalklappenöffnung bezeichnet. Der Zeitpunkt der Pulmonalklappenöffnung wurde als am Beginn der schnellen Phase der Öffnungsbewegung gelegen definiert.
Der RVET entsprach die Zeit, während der die Pulmonalklappe geöffnet war.
(Vgl. dazu Abbildung 2)
Aus beiden Grössen, RPEP und RVET - bzw. bei TGA: LPEP und LVET -, wurde der Quotient RPEP/RVET (bzw. LPEP/LVET) gebildet. Dieser Quotient wurde dann mit den Pulmonalarteriendruckwerten, dem diastolischen (PADP), dem systolischen (PASP) und dem mittleren Druck ($\overline{PAP}$), korreliert.

Abbildung 2: Bestimmung der rechtsventrikulären Zeitintervalle (RVSTI) im Kollektiv A



1 = Pulmonalklappenecho (hintere Klappentasche)

PÖ = Pulmonalklappenöffnung, Beginn der schnellen Phase der Öffnungsbewegung

PS = Pulmonalklappenschluss

a = RPEP (rechtsventrikuläre Pre Ejection Period)

b = RVET (rechtsventrikuläre Ejection Time)

c = Beginn des QRS-Komplexes des simultanen EKGs

2.3.B. Kollektiv B

Die Auswertung dieser Echokardiogramme wurde mittels eines Kontron-Cardio-80-Auswertesystems durchgeführt. Über das vormagnetisierte Messtablett wurden mit dem Cursor die Daten des Echokardiogramms, die Skalierung nach der Zeit (msec) und der Länge (mm) als x-y-Koordinaten, die Position der Anfänge der QRS-Komplexe des simultanen EKGs, die Anzahl der Zyklen, sowie die linksventrikuläre Seite des Septums (LS) und das Endokard der linksventrikulären Hinterwand (EN) als Kurvenzüge, in den Rechner eingegeben. Jeder dieser Schritte wurde nach Aufforderung auf dem Sichtgerät ausgeführt.
Der Rechner verarbeitete dann die eingezogenen Daten digital nach dem instantanen Programm (mit einfacher Glättung) und gab die Ergebnisse an den Bildschirm und den angeschlossenen Drucker weiter.
Es wurden jeweils vier aufeinanderfolgende Zyklen digitalisiert, aus den dabei eingegebenen Daten bildete der Rechner die Mittelwerte. Dieser Vorgang wurde mit den selben Zyklen wiederholt. Die Ergebnisse beider Berechnungen wurden dann gemittelt und zur statistischen Auswertung verwendet.
Ein Beispiel zum Computerausdruck zeigt die Abbildung 3.

Folgende Parameter wurden vom Rechner ausgewertet:
- der linksventrikuläre Durchmesser (mm) zu Beginn des QRS-Komplexes: entsprechend dem enddiastolischen Durchmesser (LVEDD).
- der maximale und der minimale LV-Durchmesser (mm): der maximale Durchmesser (LVDe) (jeweils der erste grösste Durchmesser im Zyklus, vgl. Abbildung 3) wird hier als der Durchmesser zu Beginn der mechanischen Kammerkontraktion definiert (er ist nicht mit dem enddiastolischen Durchmesser gleichzusetzen; der Zeitpunkt des maximalen Durchmessers (s. u.) wird deshalb mit dem Beginn der Ejection Time (ET) gleichgesetzt;

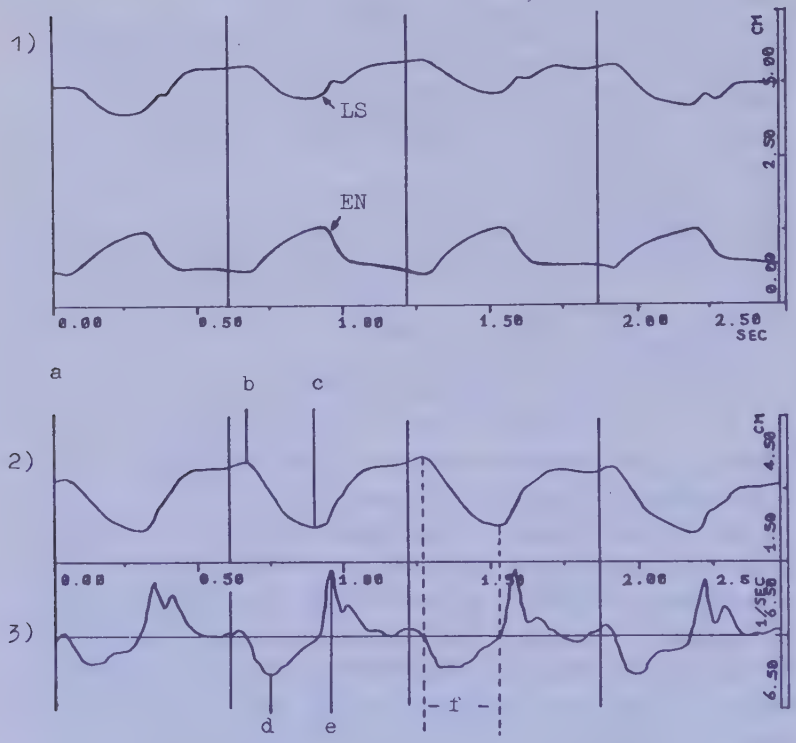
der minimale Durchmesser (LVESD), davon wird hier ausgegangen, liegt am Ende der Kammersystole (= Ende der ET).

- die Zeitpunkte des maximalen und des minimalen Durchmessers im Zyklus (t_{LVDe} und t_{LVESD}):
  es wird die Zeit angegeben, die zwischen dem Beginn des QRS-Komplexes und dem Auftreten des jeweiligen Durchmessers verstreicht; die Zeitdauer zwischen dem Auftreten des maximalen und des minimalen Durchmessers wird als ET definiert.
- die Zyklusdauer (ZD) (msec):
  sie entspricht dem Mittelwert aus vier Zyklen, jeweils vom Beginn eines QRS-Komplexes bis zum Beginn des nächsten gemessen.
- die Shortening Fraction (SF) (%):
  die SF wird berechnet nach der Formel:

$$\frac{LVEDD - LVESD}{LVEDD} \times 100 = SF\ (\%)$$

- die maximale zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max}) (sec^{-1}):
  sie bringt zum Ausdruck, wie rasch sich in der schnellsten Phase der Ventrikelsystole das Septum und die LV-Hinterwand, speziell LS und EN (s.o. und Abbildung 3), aufeinander zubewegen. Um unabhängig von den unterschiedlichen Herzgrössen und somit Herzdurchmessern zu werden, wird die Dimensionsänderungsgeschwindigkeit (cm/sec) durch die aktuellen (momentanen) Durchmesser dividiert.
- die maximale Lengthening Rate (LR_{max}) (sec^{-1}):
  sie steht für die schnellste Dimensionsänderungsrate in der Dilatationsphase des Ventrikels. Die LR_{max} kann man als negative Vcf_{max} bezeichnen, oder umgekehrt; dementsprechend werden beide Grössen auf die gleiche Weise vom Computer berechnet.
- die Zeitpunkte der Vcf_{max} und der LR_{max} im Zyklus (t_{Vcfmax} und t_{LRmax}):
  es wird die Zeit vom Beginn des QRS-Komplexes bis zum Eintritt der jeweiligen maximalen Dimensionsänderungsrate gemessen.

Abbildung 3: Computerausdruck eines digitalisierten Echokardiogramms - Kollektiv B



1) Bewegungsablauf des Interventrikularseptums (linke Seite (LS)) und LV-Hinterwand (Endokard (EN)).

2) Durchmesserverlaufskurve mit a = Beginn des $\hat{q}$RS--Komplexes und enddiastolischem LV-Durchmesser (LVEDD), b = Zeitpunkt des maximalen Durchmessers (t_{LVDe}) und maximalem Durchmesser (LVDe) und c = Zeitpunkt des minimalen Durchmessers (t_{LVESD}) und minimalem Durchmesser (LVESD).

3) Verlaufskurve der Dimensionsänderungsrate ("1.Ableitung") mit Peak-Werten d = Vcf_{max} und e = LR_{max}.
f = Ejection Time (ET).

Ausserdem wurden berechnet:

- die Herzfrequenz (HF) (min^{-1})
  nach der Formel:

$$\frac{1}{\text{Zyklusdauer}} \times 60 \times 1000 = \text{HF } (min^{-1})$$

  siehe Tabelle 1 und Abbildung 4
- die Körperoberfläche (KOF) (m^2)
  sie wurde mit Hilfe eines Nomogramms aus dem Gewicht und der Körperlänge der Patienten/Probanden bestimmt (aus Crawford, J.D., M.E. Terry, G.M. Rourke: Pediatrics 5 (1950), 783)
  siehe Tabelle 1 und Abbildung 5
- die mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean}) (sec^{-1})
  dazu wurde in die Formel:

$$\frac{LVEDD - LVESD}{LVEDD \times ET} = Vcf_{mean} \ (sec^{-1})$$

  für:

$$\frac{LVEDD - LVESD}{LVEDD} = \frac{SF\ (\%)}{100}$$

  eingesetzt und für die Ejection Time (ET) wurde die Zeitdauer zwischen maximalem und minimalem Durchmesser ($t_{LVESD} - t_{LVDe}$) berechnet;
  daraus folgt die Formel:

$$\frac{SF\ (\%)}{100 \times (t_{LVESD} - t_{LVDe})\ (msec)} \times 1000 =$$

$$= \frac{SF\ (\%)}{(t_{LVESD} - t_{LVDe})\ (msec)} \times 10 = Vcf_{mean} \ (sec^{-1})$$

Abbildung 4: Herzfrequenz in den Gruppen des Kollektivs B

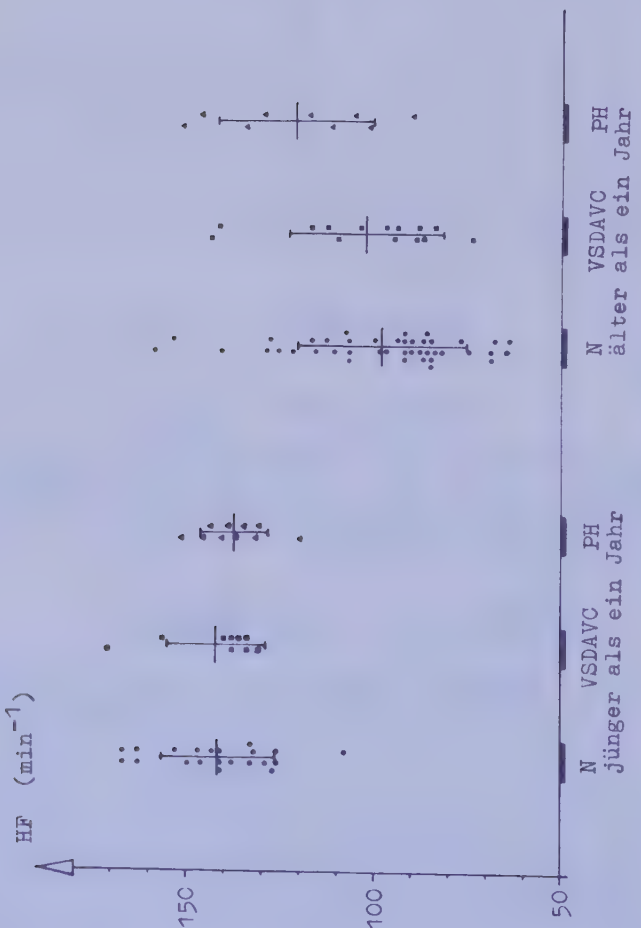
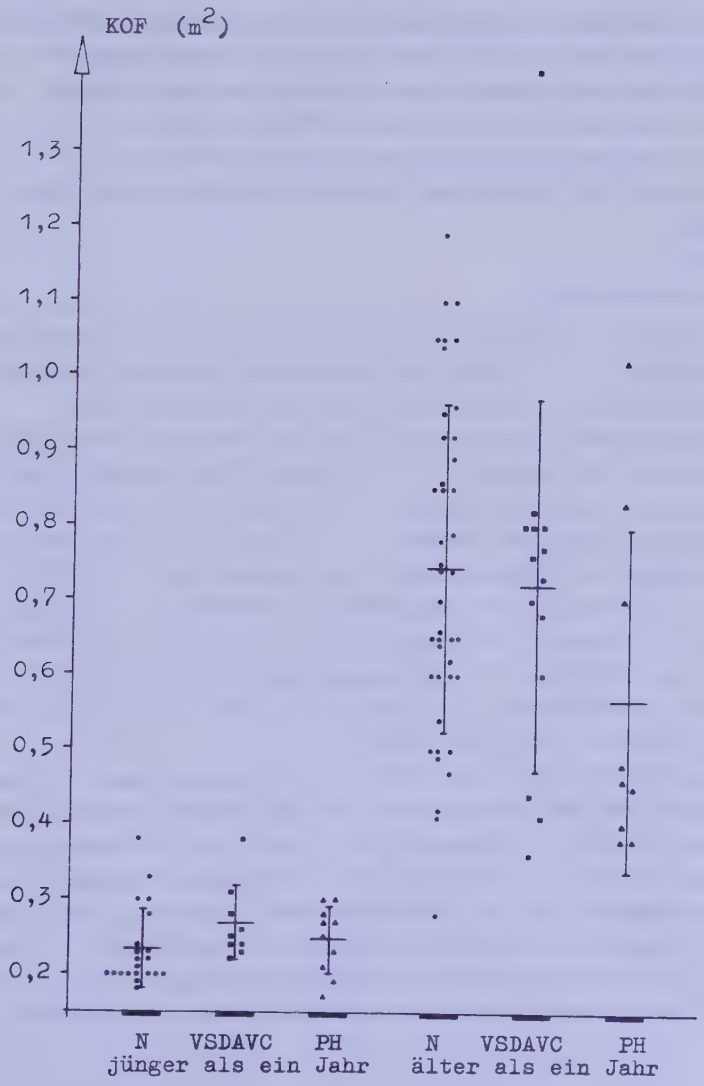


Abbildung 5: Körperoberfläche in den Gruppen des Kollektivs B



2.4. Statistik

2.4.A. Kollektiv A

In den einzelnen Gruppen (I - III) des Kollektivs A wurden jeweils die Korrelationen zwischen den Quotienten RPEP/RVET (bzw. bei TGA: LPEP/LVET) und den PA-Druckwerten für den diastolischen (PADP), den systolischen (PASP) und den mittleren Druck ($\overline{PAP}$) berechnet.
(Auf eine Berechnung der Regressionsgeraden wurde in Anbetracht der gefundenen Korrelationkoeffizienten verzichtet.)

2.4.B. Kollektiv B

Im Kollektiv B wurde der Vergleich zwischen den einzelnen Gruppen mit Hilfe eines multiplen Tests durchgeführt. Zur Überprüfung auf signifikante Unterschiede wurde der Scheffé- Test in Kombination mit dem Bartlett-Test und der Varianzanalyse angewendet. Der Scheffé-Test wurde eingesetzt, weil die Gruppen in den verschiedensten Zusammenstellungen überprüft wurden: N - VSDAVC - PH ohne Berücksichtigung der Altersschwelle von einem Jahr (= 3 Gruppen), mit Berücksichtigung der Alterschwelle (= 6 Gruppen), N - VSDAVC - PH jünger als ein Jahr (= 3 Gruppen), älter als ein Jahr (= 3 Gruppen) und zwischen N - N; VSDAVC - VSDAVC; PH - PH jeweils mit Berücksichtigung der Alterschwelle von einem Jahr.
Da der Scheffé-Test nur korrekte Ergebnisse liefert, wenn zwischen den zu überprüfenden Gruppen keine Unterschiede in den Varianzen vorhanden sind, wurde der Bartlett-Test vorgeschaltet. Der Bartlett-Test prüft gemeinsam mit der Varianzanalyse, ob die Varianzen der Gruppen gleich gross sind. Ergibt sich im Bartlett-Test ein Wert für $p = 0{,}05$, so bedeutet dies, dass der Scheffé-Test angewendet werden darf. Erst unter dieser Voraussetzung kann die Aussage

des Scheffé-Tests voll gewichtet werden.
Obwohl nun der Bartlett-Test jedoch nicht in allen Fällen homogene Varianzen bestätigt, zeigt die Varianzanalyse in manchen Gegenüberstellungen hohe Signifikanzen für die Mittelwerte, die im Scheffé-Test bestätigt werden. Dies weist auf medizinisch relevante Unterschiede hin, die jedoch nicht signifikant sind.

3. ERGEBNISSE

3.A. Ergebnisse des Kollektivs A

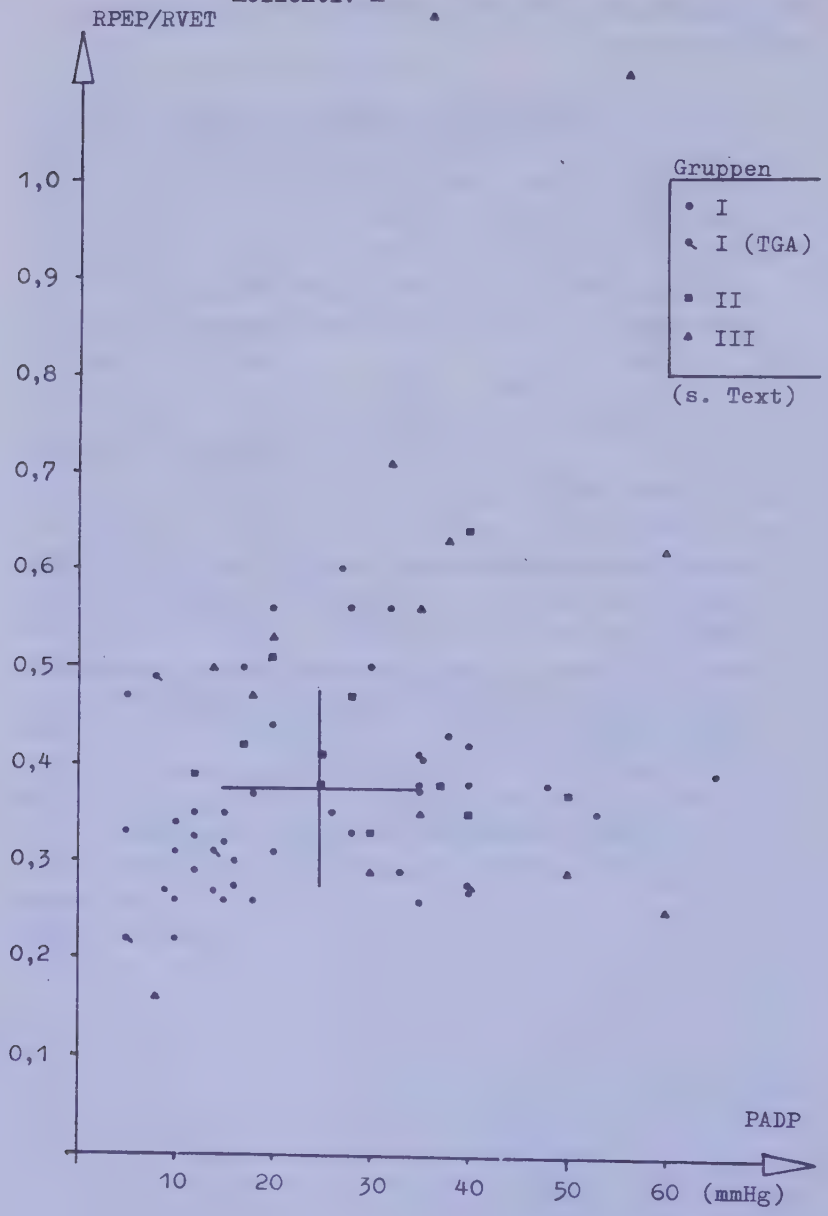
Die Überprüfung der Abhängigkeit des STI-Quotienten RPEP/RVET (bzw. bei TGA: LPEP/LVET) von den Pulmonalarteriendrucken, dem diastolischen, dem systolischen und dem mittleren Druck, ergibt, dass bei keiner der Korrelationen zwischen RPEP/RVET und den PA-Druckwerten (PADP, PASP und $\overline{PAP}$) Werte für den Korrelationskoeffizienten r vorhanden sind, die auf eine deutliche Verknüpfung hindeuten.
(Einzelwerte: siehe 6.1. Anhang in Tabelle 1)
Die Gruppe I hat die "beste" Korrelation zwischen RPEP/RVET und PADP mit r = 0,22.
Die Gruppe II zeigt im Vergleich des STI-Quotienten mit den systolischen Werten (PASP) durch einen Korrelationskoeffizienten von r = 0,52 mehr Abhängigkeit; auch bei den Mitteldrucken ($\overline{PAP}$) ist mit r = 0,37 ein höherer Wert für r vorhanden als bei den Korrelationen der Gruppe I und III.
Die Gruppe III hat für die Korrelation gegen die diastolischen Werte (PADP) mit r = 0,26 einen besseren Wert als die Gruppe I, doch beruht dies auf der Gegenwart zweier "Ausreisser". Diese Ausreisser bewirken auch, dass in der Zusammenfassung aller Gruppen (I + II + III) bei PADP ein Korrelationskoeffizient von r = 0,30 vorhanden ist.
Siehe Abbildung 6.

Die Korrelationen zwischen RPEP/RVET und den Pulmonalarteriendrucken:

r =	RPEP/RVET : PADP	: PASP	: $\overline{PAP}$
I: ASD; VSD; AVC; PDA; TGA n = 45	0,2167	0,1773	0,1699
II: IStA; HLHS n = 11	0,0026	0,5189	0,3730
III: EFE; kompl. RSB n = 14	0,2619	0,0250	0,1891
I + II: n = 56	0,2183	0,2739	0,2402
I + II + III: n = 70	0,3025	0,1861	0,2438

(r = Korrelationskoeffizient)

Abbildung 6: Korrelation RPEP/RVET gegen PADP
- Kollektiv A -



3.B. Ergebnisse des Kollektivs B

Die Einzelergebnisse sind in 6.1. Anhang in Tabelle 2 aufgeführt.

3.B.1. Die LV-Durchmesser: LVEDD, LVDe und LVESD (siehe Tabelle 2)

Die Auswertung der linksventrikulären Durchmesser in der Altersklasse jünger als ein Jahr ergibt für den Durchmesser zu Beginn des QRS-Komplexes (LVEDD), dass sowohl zwischen der Normalbefundgruppe (N) mit 19,1 mm und der Links-Rechts-Shunt-Gruppe (VSDAVC) mit 26,4 mm, als auch zwischen der Gruppe VSDAVC und der Links-Rechts-Shunt-Gruppe mit pulmonaler Hypertonie (PH) mit 19,7 mm Mittelwertsunterschiede vorhanden sind, die jedoch nicht signifikant sind (vgl. dazu 2.4.B. Statistik: letzter Absatz).
Für den maximalen (LVDe) und den minimalen Durchmesser (LVESD) ergibt sich das gleiche Verhältnis zwischen den Gruppen N mit 20,1 mm bzw. 12,3 mm und VSDAVC mit 27,2 mm bzw. 16,0 mm und zwischen VSDAVC und PH mit 20,6 mm bzw. 12,1 mm. Dabei zeigt der maximale Durchmesser (LVDe) die Mittelwertsunterschiede deutlicher als der minimale Durchmesser (LVESD).
Die Auswertung der Altersklasse älter als ein Jahr ergibt bei den verschiedenen Durchmessern (LVEDD, LVDe und LVESD) keine Unterschiede. Die Werte für LVEDD liegen zwischen 33,1 mm (N) und 29,1 mm (PH), für LVDe zwischen 35,0 mm (N) und 29,8 mm (PH) und für LVESD zwischen 21,3 mm (N) und 19,4 mm (PH). Die Werte der Gruppe VSDAVC liegen 0,6 - 0,9 mm unter den Mittelwerten der Gruppe N.

Siehe Abbildungen 7 und 8.

Tabelle 2: Linksventrikuläre Durchmesser in den Gruppen des Kollektivs B (siehe 3.B.1.)

LVEDD = enddiastolischer Durchmesser zu Beginn des QRS-Komplexes
LVDe = maximaler Durchmesser
LVESD = endsystolischer, minimaler Durchmesser

Mittelwert und (Standardabweichung)

	LVEDD (mm)	LVDe (mm)	LVESD (mm)
jünger als ein Jahr			
N :	19,14 (2,67)	20,14 (2,59)	12,29 (1,59)
VSDAVC :	26,44 (2,74)	27,22 (2,95)	16,00 (2,87)
PH :	19,70 (6,55)	20,60 (6,31)	12,10 (4,75)
älter als ein Jahr			
N :	33,12 (4,83)	34,98 (5,08)	21,31 (3,54)
VSDAVC :	32,50 (6,63)	34,21 (6,09)	20,43 (3,94)
PH :	29,11 (9,20)	29,78 (9,16)	19,44 (8,92)

Abbildung 7: LV-Durchmesser zu Beginn des QRS-Komplexes in den Gruppen des Kollektivs B (siehe 3.B.1.)

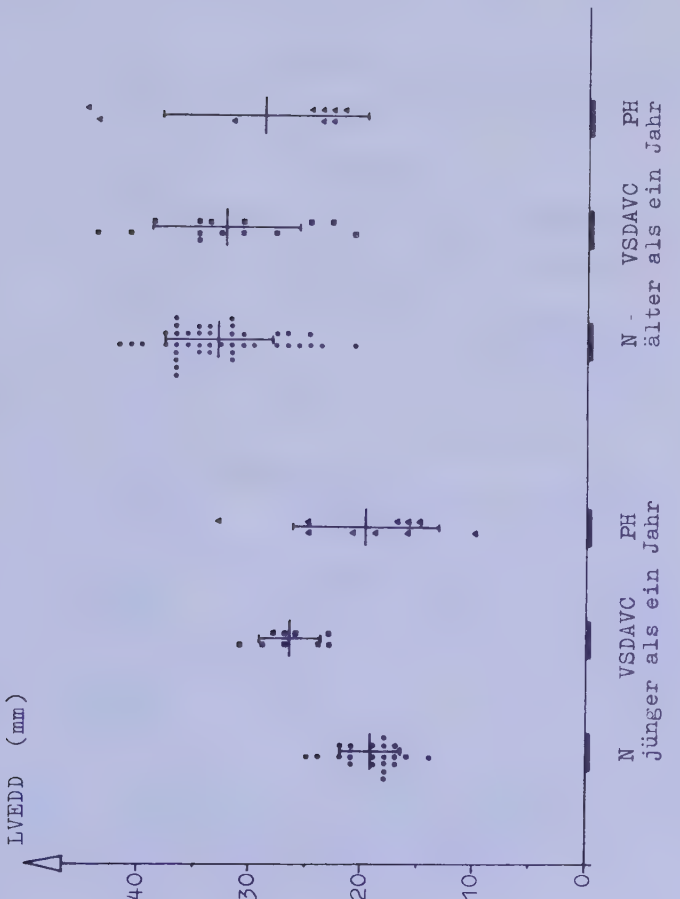
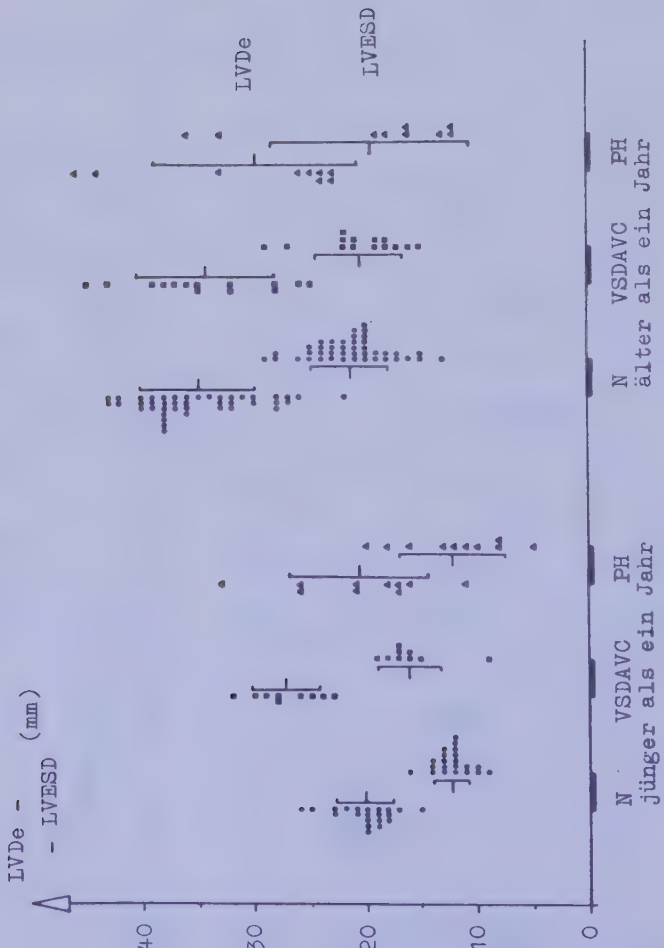


Abbildung 8: Maximaler (LVDe) und minimaler (LVESD) Durchmesser in den Gruppen des Kollektivs B (siehe 3.B.1.)



3.B.2. Die Zeitverhältnisse im linken Ventrikel: ZD, t_{LVDe}, t_{LVESD}, t_{Vcfmax} und t_{LRmax} (siehe Tabelle 3)

3.B.2.1. Die Zyklusdauer (ZD)

Die Zyklusdauer, die als Mittelwert aus vier aufeinanderfolgenden Herzzyklen zu betrachten ist, hat in der Altersklasse jünger als ein Jahr keine signifikanten Unterschiede. Die ZD schwankt zwischen 426 msec (VSDAVC) und 438 msec (PH). In der Altersklasse älter als ein Jahr liegt ein deutlicher Mittelwertsunterschied zwischen Gruppe N mit 640 msec und Gruppe PH mit 508 msec vor, während die Gruppe VSDAVC mit 606 msec in der Nähe der Gruppe N liegt.

Siehe Abbildung 9.

3.B.2.2. Die Zeitpunkte des maximalen (LVDe) und des minimalen Durchmesser (LVESD): t_{LVDe} und t_{LVESD} (vgl. Abbildung 3)

Hier findet sich im Vergleich der Altersklassen miteinander zwischen den beiden N - Gruppen für t_{LVDe} ein signifikanter Unterschied (mit $p = 0{,}01$); bei t_{LVESD} zeigen sich zwischen den beiden Altersklassen bei allen Gruppen Mittelwertsunterschiede.
In der Altersklasse jünger als ein Jahr gibt es für t_{LVDe} und für t_{LVESD} keine signifikanten Unterschiede.
Die Altersklasse älter als ein Jahr hat bei t_{LVESD} zwischen den drei Gruppen keine signifikanten Unterschiede, bei t_{LVDe} gibt es einen (nicht signifikanten) Mittelwertsunterschied zwischen den Gruppen N und PH.

Siehe Abbildung 10.

Um eine Abhängigkeit bei t_{LVDe} und t_{LVESD} von der Herzfrequenz (HF) feststellen zu können, wurden die Korrelationen der einzelnen Gruppen überprüft.

Tabelle 3: Zeitverhältnisse im linken Ventrikel: Zyklusdauer (ZD) und die Zeitpunkte des maximalen (t_{LVDe}), des minimalen (t_{LVESD}), der Vcf_{max} (t_{Vcfmax}) und der LR_{max} (t_{LRmax})

Mittelwert und (Standardabweichung)

	ZD (msec)	t_{LVDe} (msec)	t_{LVESD} (msec)	t_{Vcfmax} (msec)	t_{LRmax} (msec)
jünger als ein Jahr					
N :	428,86 (47,85)	41,14 (10,81)	249,10 (21,38)	126,57 (22,47)	311,52 (36,17)
VSDAVC :	425,89 (35,39)	35,78 (10,49)	256,44 (15,19)	133,22 (16,64)	324,89 (30,57)
PH :	437,70 (29,08)	31,30 (10,54)	255,00 (21,65)	123,50 (37,02)	322,80 (28,17)
älter als ein Jahr					
N :	640,48 (138,28)	59,41 (13,90)	327,33 (45,82)	173,33 (30,47)	393,95 (49,06)
VSDAVC :	605,50 (112,23)	47,14 (22,55)	321,50 (44,58)	168,14 (25,84)	388,86 (57,29)
PH :	507,67 (89,82)	38,78 (22,90)	294,67 (55,05)	172,11 (74,51)	362,00 (60,87)

Abbildung 9: Zyklusdauer (ZD) in den Gruppen des Kollektivs B
(siehe 3.B.2.1.)

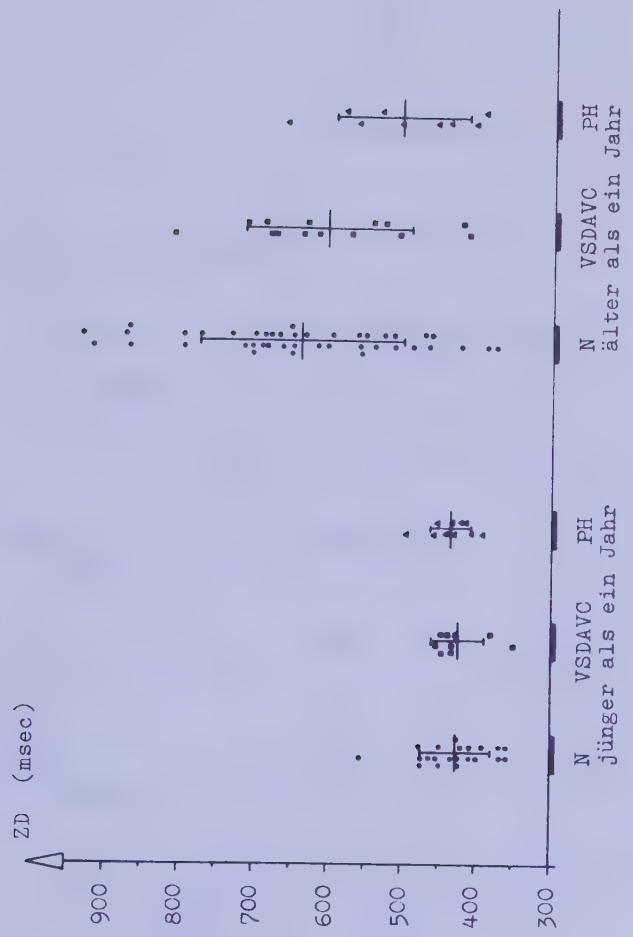
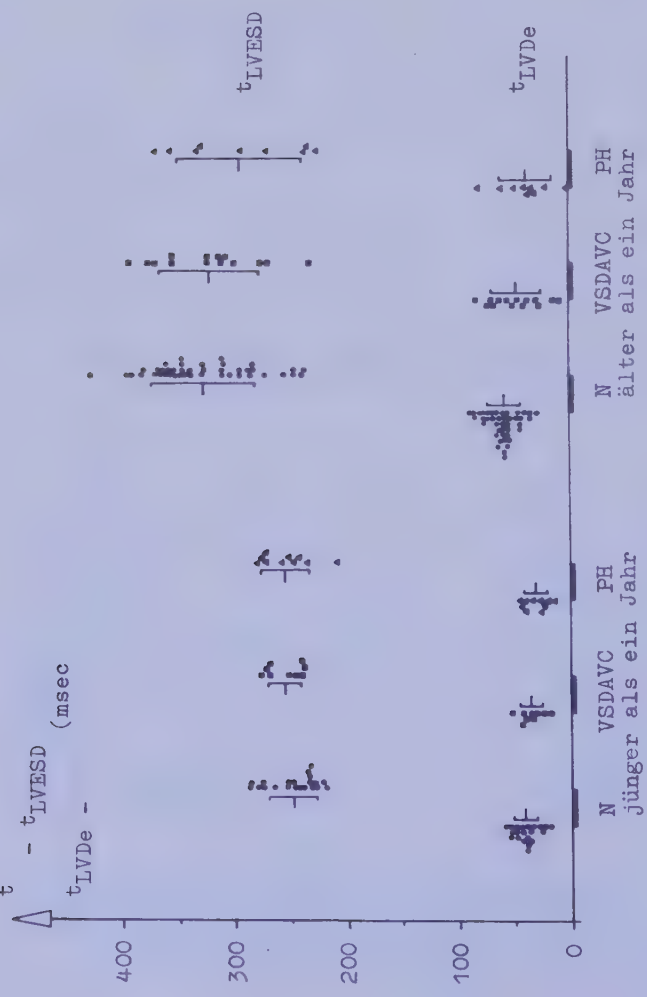


Abbildung 10: Zeitpunkt des maximalen (t_{LVDe}) und des minimalen (t_{LVESD}) Durchmessers in den Gruppen des Kollektivs B
(siehe 3.B.2.2.)



Die Korrelation von t_{LVDe} gegen HF:

Die beste Korrelation für t_{LVDe} ist die Korrelation in der Gruppe PH älter als ein Jahr mit r = -0,69 gefolgt von der Gruppe N älter als ein Jahr mit r = -0,60. Als Besonderheit fällt die Gruppe PH jünger als ein Jahr auf, hier besitzt der Korrelationskoeffizient im Gegensatz zu allen anderen ein positives Vorzeichen (r = +0,54).
Die restlichen Gruppen zeigen Korrelationskoeffizienten, die unter r = -0,28 liegen.

Korrelation: t_{LVDe} gegen HF

r =	<1 Jahr	>1 Jahr	gesamt
N	-0,2384	-0,5973	-0,7027
VSDAVC	-0,2750	-0,2450	-0,3769
PH	+0,5416	-0,6879	-0,5042
	-0,0683	-0,5541	-0,6097

(r = Korrelationskoeffizient)

Die Korrelation von t_{LVESD} gegen HF:

Für t_{LVESD} sind die Korrelationen insgesamt deutlich besser als für t_{LVDe}. Der höchste Wert mit r = -0,87 zeigt sich bei der Gruppe VSDAVC älter als ein Jahr, dann folgt mit r = -0,80 die Gruppe N älter als ein Jahr und mit r = -0,75 die Gruppe PH älter als ein Jahr. Daraus lässt sich für die Altersklasse älter als ein Jahr mit einer Gesamtkorrelation von r = -0,81 eine deutliche Abhängigkeit des Zeitpunktes des LVESD von der HF ableiten.
In der Alfersklasse jünger als ein Jahr hat die Gruppe N einen Korrelationskoeffizienten von r = -0,67, die Gruppe VSDAVC einen in Höhe von r = -0,60, während auch hier, wie bei t_{LVDe}, die Gruppe PH mit einem positiven Wert (r = +0,31) auffällt.

Korrelation: t_{LVESD} gegen HF

r =	<1 Jahr	>1 Jahr	gesamt
N	-0,6721	-0,7953	-0,8836
VSDAVC	-0,6021	-0,8732	-0,9087
PH	+0,3061	-0,7479	-0,6718
	-0,4726	-0,8109	-0,8684

3.B.2.3. Die Zeitpunkte der Vcf_{max} und der LR_{max}: t_{Vcfmax} und t_{LRmax} (vgl. Abbildung 3)

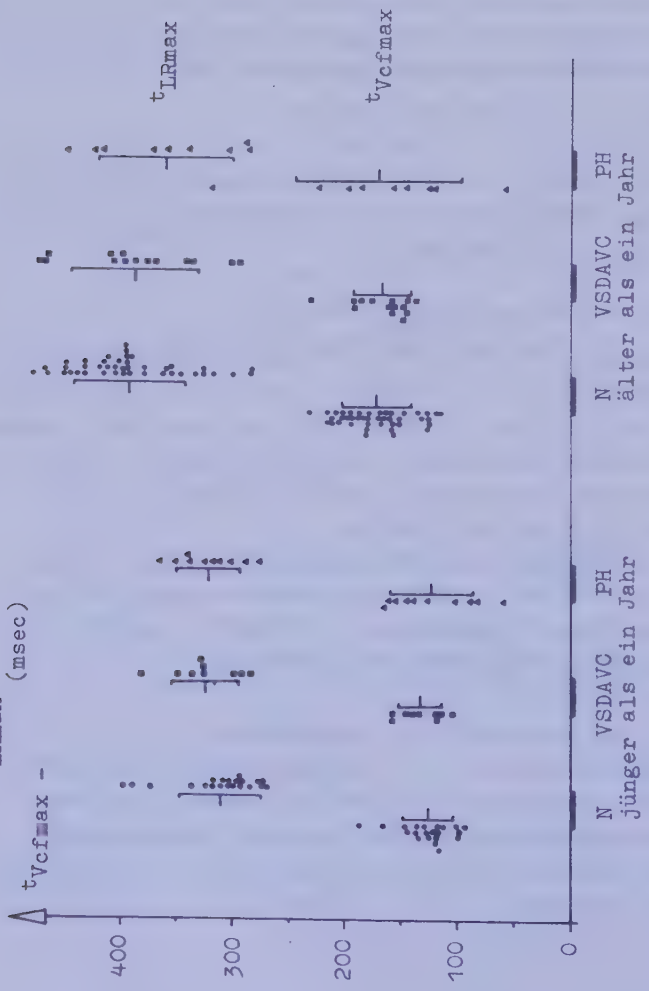
Beim Vergleich der beiden Altersklassen zeigen t_{Vcfmax} und t_{LRmax} zwischen den Gruppen N und zwischen den Gruppen VSDAVC signifikante Unterschiede (mit $p = 0,01$), während zwischen den beiden PH-Gruppen kein signifikanter Unterschied besteht. In den beiden Altersklassen zwischen den verschiedenen Gruppen sind keine Unterschiede vorhanden.
Siehe Abbildung 11.

Um auch hier auf eine Abhängigkeit von der Herzfrequenz zu prüfen, wurden die Korrelationen für t_{Vcfmax} und für t_{LRmax} gegen HF berechnet.

Die Korrelation von t_{Vcfmax} gegen HF:

Die Korrelationen der einzelnen Gruppen zeigen ein gemischtes Bild. Bei der Gruppe N ist in der Altersklasse jünger als ein Jahr mit $r = -0,35$ eine geringe, dagegen in der Altersklasse älter als ein Jahr mit $r = -0,61$ eine bessere Korrelation vorhanden. Die Gruppe VSDAVC dagegen zeigt bei den Jüngeren mit $r = -0,57$ eine höhere Korrelation als bei den Älteren mit $r = -0,39$. Die Gruppe PH hat in der Altersklasse jünger als ein Jahr fast keine Abhängigkeit ($r = -0,11$) dagegen ist in der anderen Altersklasse die Korrelation mit $r = -0,59$ relativ gut.
Der für die Gesamtheit der Altersklasse älter als ein Jahr berechnete Wert ($r = -0,86$) mit einer deutlichen Zunahme gegenüber den Einzelwerten weist darauf hin, dass die Mittelwerte in den einzelnen Korrelationsgruppen stark differieren und damit das falsch positive Ergebnis bewirken.

Abbildung 11: Zeitpunkt der Vcf_{max} (t_{Vcfmax}) und der LR_{max} (t_{LRmax})
(siehe 3.B.2.3.)



Korrelation: t_{Vcfmax} gegen HF

r =	< 1 Jahr	> 1 Jahr	gesamt
N	-0,3497	-0,6081	-0,7497
VSDAVC	-0,5710	-0,3904	-0,6767
PH	-0,1112	-0,5916	-0,5941
	-0,2791	-0,8569	-0,6490

Die Korrelation von t_{LRmax} gegen HF:

Die Werte für r zeigen in der Altersklasse älter als ein Jahr eine starke Abhängigkeit für t_{LRmax} von der Herzfrequenz. Hier hat die Gruppe VSDAVC mit r = -0,91 die beste Korrelation (im Gegensatz zu t_{Vcfmax}), es folgen die Gruppe N mit r = -0,83 und die Gruppe PH mit r = -0,76. Bei den Jüngeren haben die Gruppen N und VSDAVC mit r = -0,48 gleiche Korrelationen, während die Gruppe PH mit r = -0,04 keine Abhängigkeit zeigt.

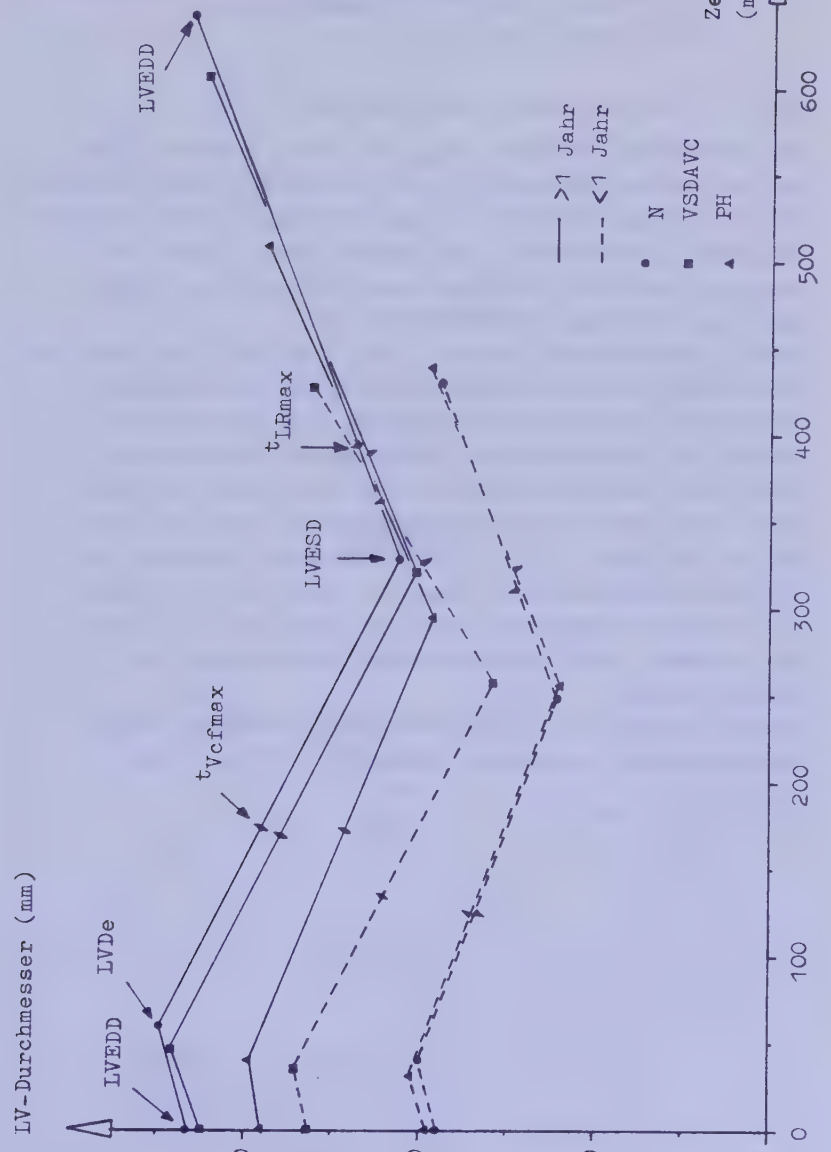
Korrelation: t_{LRmax} gegen HF

r =	< 1 Jahr	> 1 Jahr	gesamt
N	-0,4757	-0,8326	-0,8714
VSDAVC	-0,4770	-0,9076	-0,8760
PH	-0,0442	-0,7629	-0,7016
	-0,4140	-0,8358	-0,8541

3.B.3. Schematische Darstellung des LV-Kontraktionsablaufs

Um die oben beschriebenen Parameter anschaulicher betrachten zu können, sind hier die Mittelwerte der LV-Durchmesser (LVEDD, LVDe und LVESD) und ihre zugehörigen Zeitpunkte (t_{LVDe} und t_{LVESD}) sowie die Mittelwerte der Zeitpunkte der maximalen Dimensionsänderungen (t_{Vcfmax} und t_{LRmax}) in einem Schaubild dargestellt (siehe Abbildung 12).
In diesem schematischen Zyklus werden die Tendenzen, die sich bereits in der Auswertung der Einzeldaten abgezeichnet haben, nochmals graphisch in der Zusammenschau verdeutlicht.
So lässt sich in der Altersklasse jünger als ein Jahr erkennen, dass die Gruppe VSDAVC grössere Durchmesser aufzuweisen hat als die beiden anderen Gruppen. Bei diesen fällt auf, dass ihre Durchmesser fast identisch sind, nur die Zeitintervalle sind ganz leicht unterschiedlich, so scheint die Gruppe PH etwas mehr Zeit für den Auswurf des Blutes aus dem linken Ventrikel zu benötigen.
In der Altersklasse älter als ein Jahr sind nicht nur unterschiedliche Durchmesser zu erkennen, sondern auch unterschiedliche Zeitverhältnisse. Hier hat die Gruppe N die grössten Durchmesser und die längste Zyklusdauer, die Gruppe VSDAVC hat 0,6 - 0,9 mm kleinere Durchmesser und eine 35 msec kürzere Zyklusdauer. Deutlicher ist der Unterschied zur Gruppe PH, sie hat die kleinsten Durchmesser und die kürzeste Zyklusdauer dieser Altersklasse.

Abbildung 12: Schematische Darstellung des LV-Kontraktionsablaufs (s. 3.B.3.)



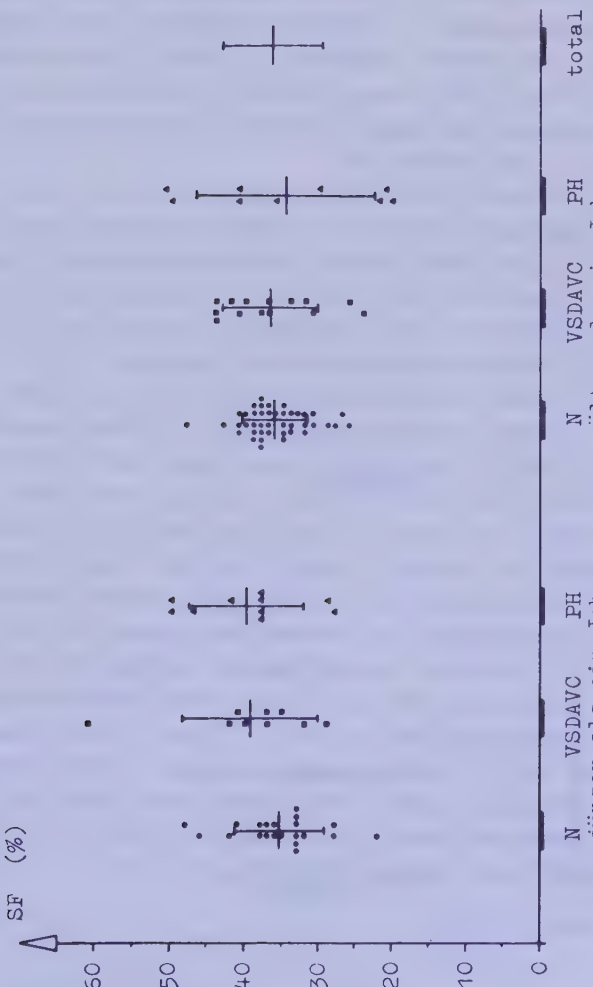
3.B.4. Die Kontraktilitätsindizes: SF, Vcf_{max}, LR_{max} und Vcf_{mean} (siehe Tabelle 4 S.42)

3.B.4.1. Die Shortening Fraction (SF) (%)

Die Shortening Fraction zeigt über alle Gruppen hinweg nur geringe Schwankungen. Die Mittelwerte liegen zwischen 34,7 % (Gruppe PH älter als ein Jahr) und 39,8 % (Gruppe PH jünger als ein Jahr), es besteht hier, ebenso wie zwischen den beiden Altersklassen der anderen Gruppen, kein signifikanter Unterschied.
In der Altersklasse jünger als ein Jahr hat die Gruppe N den niedrigsten Mittelwert mit 35,3 %, höher liegen die Mittelwerte der Gruppen VSDAVC mit 39,3 % und PH mit 39,8 %, es bestehen keine signifikanten Unterschiede.
In der Altersklasse älter als ein Jahr haben die Mittelwerte der einzelnen Gruppen (VSDAVC mit 36,7 %, N mit 36,1 % und PH mit 34,7 %) eine geringere Streubreite als die Mittelwerte der Jüngeren. Doch muss auf Grund der zu grossen Streubreite in den einzelnen Gruppen auf die Aussage: "keine signifikanten Unterschiede" verzichtet werden.
Berechnet man den Mittelwert aus allen Gruppen beider Altersklassen, so beträgt dieser 36,5 % ± 6,7 (SD).

Siehe Abbildung 13.

Abbildung 13: Shortening Fraction (SF) in den Gruppen des Kollektivs B (siehe 3.B.4.1.)

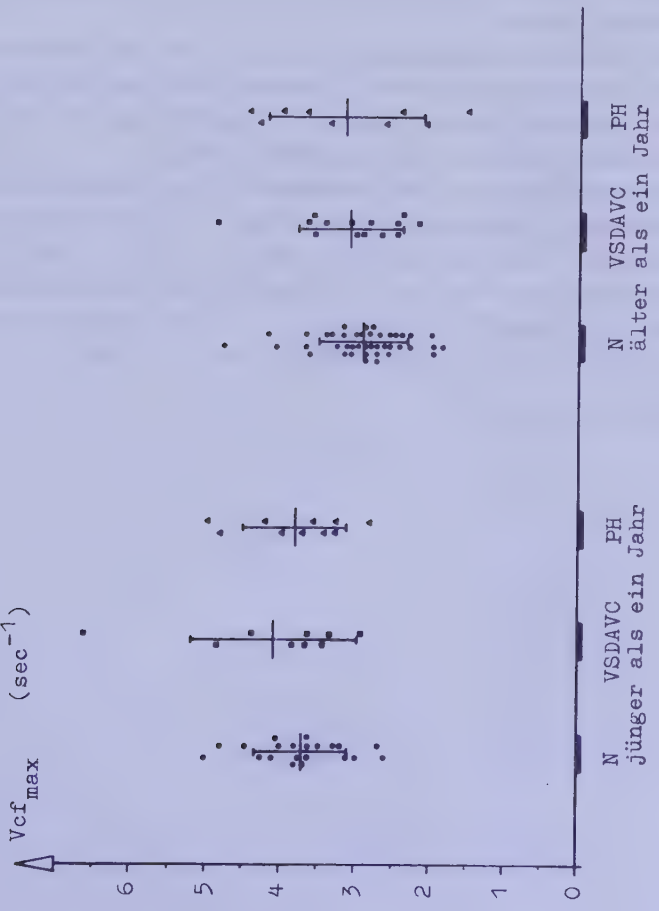


3.B.4.2. Die maximale zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max})

Die Vcf_{max} liegt in den beiden Altersklassen auf unterschiedlichem Niveau. In der Altersklasse jünger als ein Jahr kontrahieren sich die Herzen rascher, die Mittelwerte für Vcf_{max} schwanken zwischen 3,72 sec^{-1} (bei Gruppe N) und 4,10 sec^{-1} (bei Gruppe VSDAVC). Bei den Älteren liegen die Mittelwerte zwischen 2,94 sec^{-1} (bei Gruppe N) und 3,19 sec^{-1} (bei Gruppe PH).
Die altersbedingte Differenz wird durch die statistischen Tests bestätigt. Zwischen den beiden Gruppen N und den beiden Gruppen VSDAVC zeigen sich signifikante Unterschiede (bei N mit $p = 0,01$ und bei VSDAVC mit $p = 0,05$). Für die Gruppen PH wird infolge der zu grossen Streubreite keine statistische Aussage gemacht.
Beim Vergleich der einzelnen Gruppen untereinander zeigt sich in der Altersklasse jünger als ein Jahr, dass die Gruppe N mit 3,72 sec^{-1} den niedrigsten Mittelwert und die Gruppe VSDAVC mit 4,10 sec^{-1} eine etwas höhere Vcf_{max} hat, während die Gruppe PH mit 3,83 sec^{-1} nur knapp über dem Niveau der Gruppe N liegt. Von der Statistik her betrachtet bestehen jedoch keine signifikanten Unterschiede.
In der Altersklasse über einem Jahr liegen die Mittelwerte der einzelnen Gruppen enger beieinander. Die Gruppe N hat mit 2,94 sec^{-1} den niedrigsten Mittelwert. Die Gruppe VSDAVC besitzt mit 3,11 sec^{-1} eine etwas raschere Vcf_{max}, während nun in dieser Altersklasse die Gruppe PH mit 3,19 sec^{-1} den schnellsten Wert für die Vcf_{max} aufweist. Auch hier finden sich von der Statistik her keine signifikanten Unterschiede.

Siehe Abbildung 14.

Abbildung 14: Maximale zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max}) in den Gruppen des Kollektivs B
(siehe 3.B.4.2.)

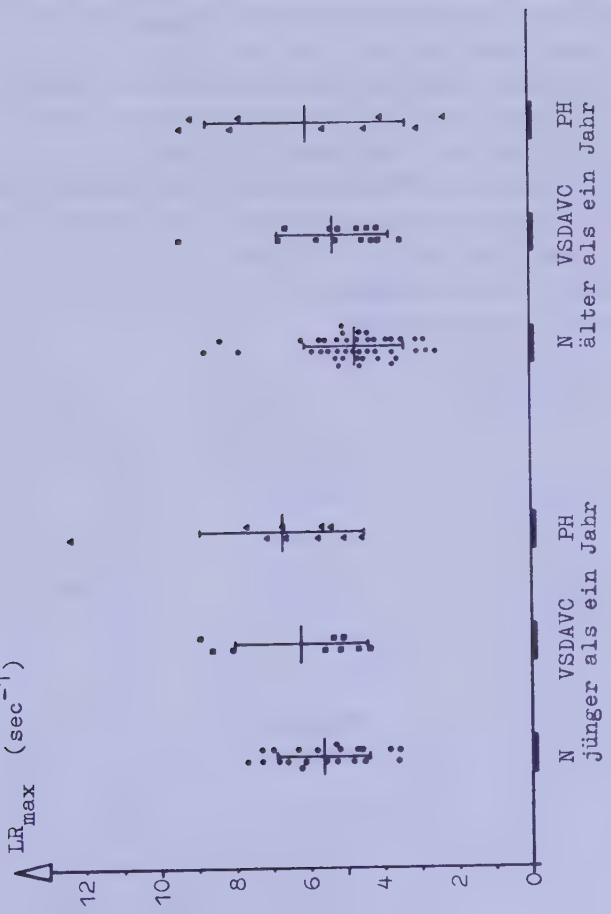


3.B.4.3. Die maximale Lengthening Rate (LR_{max})

Die LR_{max} zeigt in der Altersklasse älter als ein Jahr eine Abnahme der Gruppenmittelwerte gegenüber der Altersklasse jünger als ein Jahr. Dies wird jedoch von der statistischen Auswertung nur für die Gruppen N bestätigt, sie sind mit $p = 0,05$ signifikant verschieden. Die anderen Gruppen dagegen haben infolge zu grosser Streubreiten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersklassen.
In beiden Altersklassen fällt auf, dass die Mittelwerte von der Gruppe N über die Gruppe VSDAVC zur Gruppe PH hin zunehmen, jedoch ohne eine Bestätigung von Unterschieden durch die statistischen Tests.
Die Mittelwerte der Altersklasse jünger als ein Jahr betragen in der Gruppe N 5,66 sec^{-1}, in der Gruppe VSDAVC 6,25 sec^{-1} und in der Gruppe PH 6,76 sec^{-1}. Und in der Altersklasse älter als ein Jahr liegen die Mittelwerte in der Gruppe N bei 4,78 sec^{-1}, in der Gruppe VSDAVC bei 5,31 sec^{-1} und in der Gruppe PH bei 6,02 sec^{-1}.

Siehe Abbildung 15.

Abbildung 15: Maximale Lengthening Rate (LR_{max}) in den Gruppen des Kollektivs B (siehe 3.B.4.3.)



3.B.4.4. Die mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean})

Die Vcf_{mean} zeigt zwischen den Altersklassen der Gruppen N und VSDAVC signifikante Unterschiede mit $p = 0,01$. Zwischen den beiden PH-Gruppen bestent kein signifikanter Unterschied.
Wie schon bei der Vcf_{max} und der LR_{max} zeichnet sich auch hier für die Altersklasse jünger als ein Jahr ein höheres Niveau der Mittelwerte der Vcf_{mean} gegenüber der Altersklasse älter als ein Jahr ab.
Bei den Jüngeren liegt der Mittelwert der Gruppe N mit 1,71 sec^{-1} knapp unter den Mittelwerten der Gruppen VSDAVC mit 1,79 sec^{-1} und PH mit 1,78 sec^{-1}.
Bei den Älteren liegt der Mittelwert der Gruppe N mit 1,38 sec^{-1} zwischen den Mittelwerten der Gruppen VSDAVC mit 1,36 sec^{-1} und PH mit 1,44 sec^{-1}.
Es bestehen jedoch in beiden Altersklassen keine signifikanten Unterschiede.

Siehe Abbildung 16.

Abbildung 16: Mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean}) in den Gruppen des Kollektivs B
(siehe 3.B.4.4.)

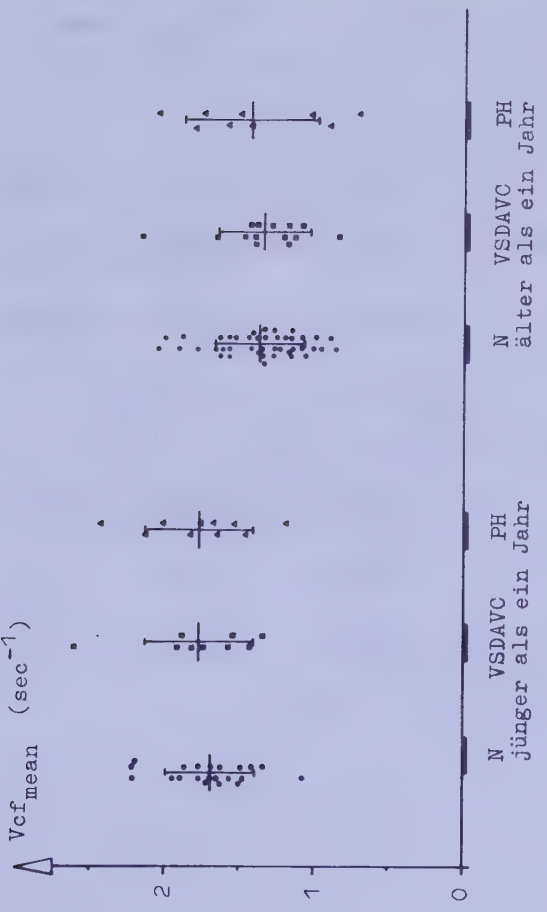


Tabelle 4: Kontraktilitätsindizes in den Gruppen des Kollektivs B
(siehe 3.B.4.)

Mittelwert und (Standardabweichung)

	SF (%)	Vcf_{max} (sec^{-1})	LR_{max} (sec^{-1})	Vcf_{mean} (sec^{-1})
jünger als ein Jahr				
N :	35,33 (5,92)	3,723 (0,624)	5,667 (1,245)	1,707 (0,290)
VSDAVC :	39,33 (9,12)	4,098 (1,110)	6,254 (1,794)	1,786 (0,370)
PH :	39,80 (7,70)	3,825 (0,696)	6,758 (2,220)	1,784 (0,360)
älter als ein Jahr				
N :	36,12 (4,40)	2,941 (0,605)	4,779 (1,335)	1,384 (0,296)
VSDAVC :	36,71 (6,55)	3,108 (0,708)	5,306 (1,528)	1,358 (0,308)
PH :	34,67 (12,08)	3,191 (1,045)	6,017 (2,706)	1,439 (0,454)

3.B.5. Die Korrelationen der Vcf_{max} mit der Vcf_{mean} und der HF

3.B.5.1. Die Korrelation der maximalen und der mittleren Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max} gegen Vcf_{mean})

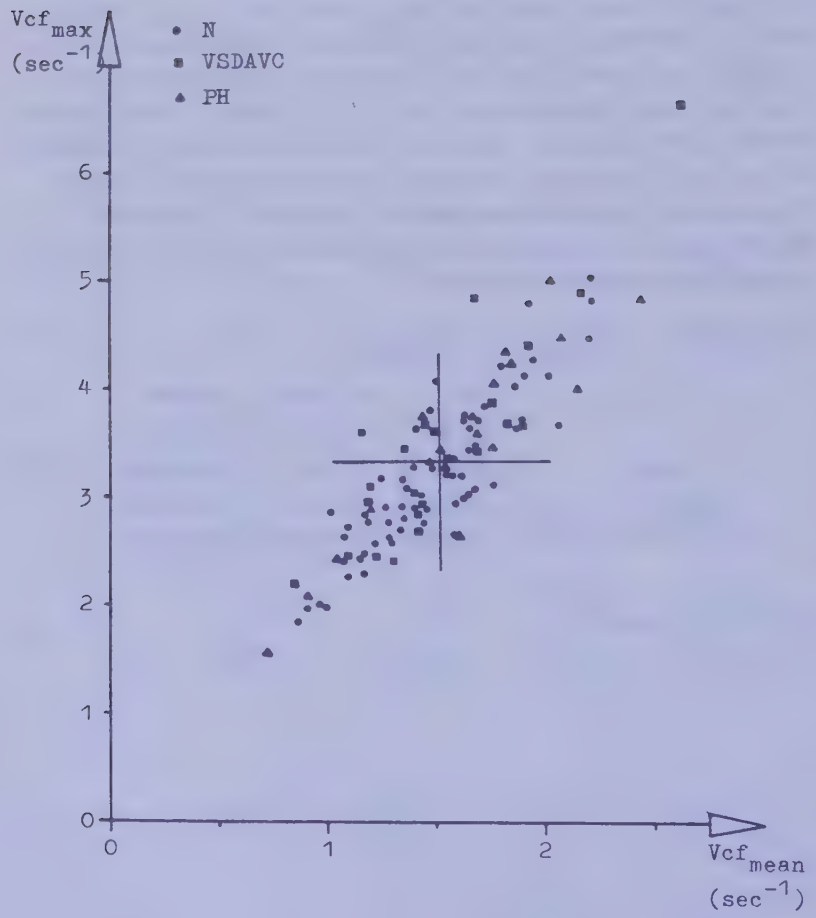
Die Gegenüberstellung der Vcf_{max} und der Vcf_{mean} zeigt, dass beide Messgrössen miteinander in hohem Masse korrelieren. Es findet sich in der Altersklasse jünger als ein Jahr eine Korrelation von r = 0,84 und in der Altersklasse älter als ein Jahr eine Korrelation von r = 0,86, bei einer Korrelation aus der Gesamtheit mit r = 0,89. Diese hohen Korrelationen machen deutlich, dass kein wesentlicher Unterschied in der Aussagekraft der beiden Parameter erwartet werden kann.

Korrelation: Vcf_{max} gegen Vcf_{mean}

r =	<1 Jahr	>1 Jahr	gesamt
N	0,8298	0,8643	0,8867
VSDAVC	0,8731	0,8149	0,8810
PH	0,8729	0,9274	0,9164
	0,8378	0,8623	0,8864

- Siehe Abbildung 17.

Abbildung 17: Korrelation der Vcf_{max} gegen die Vcf_{mean}
(siehe 3.B.5.1.)



3.B.5.2. Die Korrelation der Vcf_{max} und der Herzfrequenz

Zur Beurteilung einer Abhängigkeit der maximalen zirkumferentiellen Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max}) von der Herzfrequenz (HF) wurden beide Parameter miteinander korreliert.
Die Berechnung für die Altersklasse jünger als ein Jahr ergibt in der Gesamtkorrelation (r = 0,12) keine Abhängigkeit. Die Gruppen N und PH mit r = 0,27 bzw. mit r = 0,29 haben positive Korrelationen, während bei der Gruppe VSDAVC eine negative Korrelation mit r = -0,20 vorliegt.
Die Altersklasse älter als ein Jahr zeigt in ihrer Gesamtheit mit r = 0,48 eine bessere Korrelation. Die Gruppen N und VSDAVC übertreffen diesen Wert mit r = 0,59 bzw. mit r = 0,73, doch hat in dieser Klasse die Gruppe PH mit r = -0,11 keine Korrelation.
Die Korrelation aus der Gesamtheit mit r = 0,56 ist nur bedingt aussagekräftig, da für die beiden Altersklassen unterschiedliche Mittelwerte vorliegen. Dies ist der Grund, weshalb sich bei der Zusammenfassung aller Werte eine Verbesserung des Korrelationskoeffizienten ergibt.

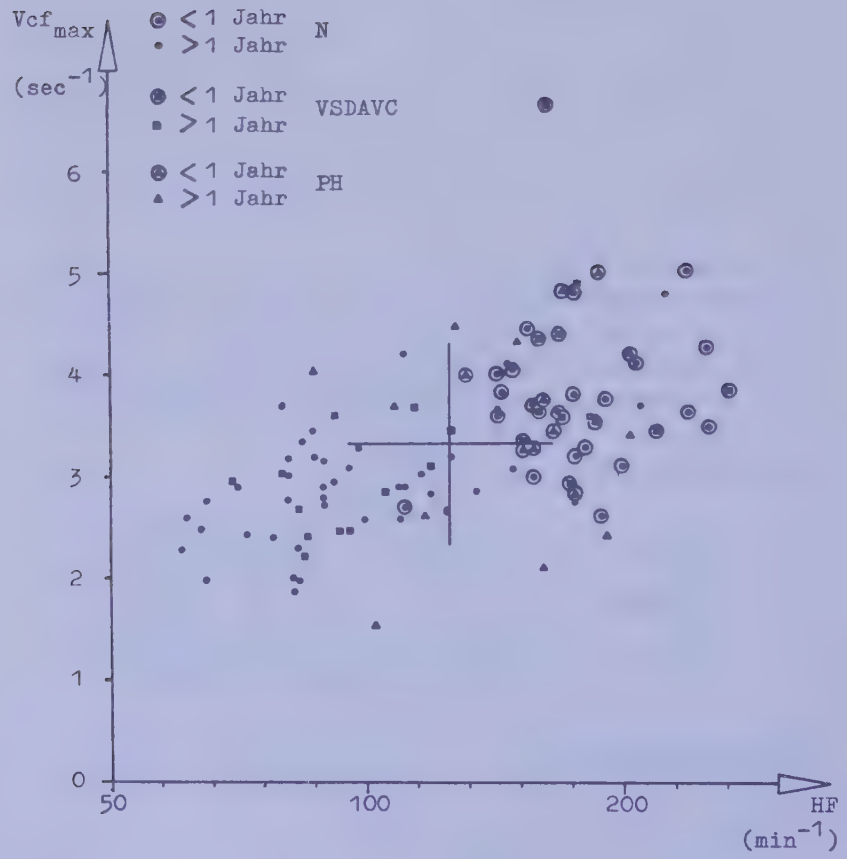
Korrelation: Vcf_{max} gegen HF

r =	< 1 Jahr	> 1 Jahr	gesamt
N	0,2740	0,5921	0,6732
VSDAVC	-0,2046	0,7252	0,5657
PH	0,2854	-0,1109	0,1583
	0,1155	0,4821	0,5635

Siehe Abbildung 18.

Abbildung 18: Korrelation der Vcf_{max} gegen die HF

(siehe 3.B.5.2.)



4. DISKUSSION

4.A. Diskussion zum Kollektiv A

Die Echokardiographie als nichtinvasive Methode bietet sich zur Bestimmung der systolischen Zeitintervalle (STI) geradezu an. Es bedarf einer in M-mode-Technik gut dargestellten Pulmonalklappe und eines synchron aufgezeichneten EKG, damit die Dauer der rechtsventrikulären systolischen Zeitintervalle ausgemessen werden kann.
Dieser unblutigen Methode zur Bestimmung der systolischen Zeitintervalle wurde von Bleicher et al. eine sehr gute Genauigkeit bestätigt, die nur mit blutiger Druckmessung über ein Tipmanometer geringfügig übertroffen werden konnte (6).
In Anlehnung an Hirschfeld et al. gingen auch Fernandes et al., Garcia et al., Gutgesell, Riggs et al., Silverman et al. und Spooner et al. bei der Bestimmung der systolischen Zeitintervalle nach dieser Methode vor (12;13;17;24;25;38;48;49).
Bei Gibson und Lewis et al. wurden Methoden beschrieben, die mittels des Phonokardiogramms, der Druckkurve der Carotis bzw. der Aorta und des EKGs die systolischen Zeitintervalle bestimmten (18;33).
Hirschfeld et al., Björkhem und Riggs et al. zeigten, dass die systolischen Zeitintervalle RPEP und RVET von Alter und Herzfrequenz abhängig sind und dass im Gegensatz dazu der Quotient RPEP/RVET keine oder nur geringe (bei Riggs et al.) Abhängigkeit zeigt (4;25;38).
Die Gültigkeit des echokardiographisch bestimmten Quotienten RPEP/RVET wiesen Silverman et al. über eine simultane Aufzeichnung der Druckverlaufskurve in der Pulmonalarterie nach. Beim Vergleich der über die zwei verschiedenen Methoden bestimmten Quotienten fand sich eine Korrelation mit $r = 0,91$ (48).

Die Korrelationen zwischen RPEP/RVET (bzw. bei TGA: LPEP/LVET) mit Pulmonalarteriendrucken wurde bereits von mehreren Autoren beschrieben:
Fernandes et al. fanden bei der Korrelation des STI--Quotienten gegen den diastolischen PA-Druck (PADP) für r = 0,73, gegen den Mitteldruck ($\overline{PAP}$) für r = 0,70 (12).
Hirschfeld et al. wiesen eine Korrelation zu PADP mit r = 0,72 und zu $\overline{PAP}$ mit r = 0,66 nach (25).
Riggs et al. berechneten eine höhere Korrelation, sie fanden eine nichtlineare Regression für RPEP/RVET gegen PADP mit r = 0,83 (38).
Garcia et al. fanden bei der Kontrolle der Pulmonalarterienbanding-Operation Korrelationen für PADP mit r = 0,94 und für den systolischen Druck (PASP) mit r = 0,86 (17).
Demgegenüber konnten Silverman et al. bei den diastolischen PA-Drucken in ihrer ersten Gruppe für r = 0,54 und in ihrer zweiten Gruppe für r = 0,20 (beide Gruppen zusammen: r = 0,33) berechnen.
Die Korrelation des Quotienten LPEP/LVET gegen den diastolischen PA-Druck (PADP) bei den Fällen mit Transposition der grossen Gefässe (TGA) ergab bei Fernandes et al. für r = 0,88 und bei Gutgesell für r = 0,70 (12;24).
Vergleicht man die oben aufgeführten Werte mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, so zeigen die hier gefundenen Korrelationen zwischen RPEP/RVET und PADP mit r = 0,22, RPEP/RVET und PASP mit r = 0,18 und RPEP/RVET und $\overline{PAP}$ mit r = 0,17 (jeweils in Gruppe I) wesentlich geringere Abhängigkeiten. Eine Parallele zeigt sich nur zur zweiten Gruppe bei Silverman et al. (48).

Betrachtet man die Einflussgrössen, die auf die einzelnen systolischen Zeitintervalle einwirken können wie Preload, Afterload, Kontraktilität des Myokards, Frequenz, interventrikuläre Erregungsüberleitung (vgl. Fernandes et al., Gibson, Lewis et al. und Spooner et al. (13;18;33;49)) und Klappenerkrankungen (bewirkt eine Verlängerung der Austreibungszeit (ET), vgl. Lewis et al. (33)), so kann davon ausgegangen werden, dass auch der Quotient RPEP/RVET von diesen Einflussgrössen tangiert werden kann.
Riggs et al. zeigten, dass mit dem Quotienten RPEP/RVET die beste Vorhersage des PADP gemacht werden kann (49). Spooner et al. dagegen betonten, dass Korrelationen wohl vorhanden seien, doch dass diese nicht ausreichten, um einen diastolischen PA-Druck von einem gegebenen RPEP/RVET-Quotienten her voraus sagen zu können. Fernandes et al. machten auf die Möglichkeit aufmerksam, dass ein Herzversagen und eine Hypoventilation während der Herzkatheteruntersuchung eine vorübergehende Veränderung der pulmonalen Druckverhältnisse bewirken könnten (13).
Die Bestimmung der Pulmonalarteriendrucke über den Quotienten RPEP/RVET muss infolge der Ergebnisse von Silverman et al., der Aussage von Spooner et al. und den hier gefundenen Korrelationskoeffizienten mit Zurückhaltung betrachtet werden. Die invasive Bestimmung der PA-Drucke kann durch diese Methode nicht vollständig abgelöst werden.

4.B. Diskussion zum Kollektiv B

M-mode-Echokardiogramme sind für eine computergestütze Auswertung gut geeignet, vorausgesetzt sie besitzen eine gute Qualität und werden mit grosser Sorgfalt nachgefahren (16;40). Gibson et al., Saffer et al. und Upton et al. beschrieben die auch in dieser Studie angewandte Methodik der Digitalisierung der Echokardiogramme (20;40;52).
Der prinzipielle Nachteil, dass bei der M-mode-Technik nur ein kleiner Ausschnitt des Gesamtmyokards untersucht werde, wurde von Björkhem für den Bereich der Kinderechokardiographie entkräftet, da in diesem Bereich nur selten regionäre Fehlfunktionen des Myokards vorkommen (51;5).
Um die Variationen, die von einem Herzschlag zum nächsten von Kugler et al. beobachtet wurden, gering zu halten, werden hier jeweils vier zusammenhängende Zyklen ausgewertet (31). Diese Zyklen werden gemäss der Empfehlung von Felner et al. zweimal nachgefahren und die Ergebnisse dann gemittelt (11).
Die Berechnung auf signifikante Unterschiede wird hier mit der Kombination Scheffé-Test, Bartlett-Test und Varianzanalyse durchgeführt. Da hier mehrere Gruppen in den unterschiedlichsten Zusammenstellungen geprüft werden, ist es notwendig einen multiplen Test anzuwenden. Ein paarweiser Vergleich der Gruppen auf Signifikanzen (z.B. mit dem Student's t-Test, vgl. Fortuin et al. und Sahn et al. (15;42)) ist hier nicht in Erwägung gezogen worden, da die Statistik für den Vergleich von mehr als zwei Gruppen multiple Tests vorsieht.

4.B.1. LV-Durchmesser

Die Richtigkeit der echokardiographisch bestimmten LV--Durchmesser wurde in mehreren Studien über einen Vergleich mit angiographisch bestimmten Parametern verifiziert (1;2;10;21). Doch Bhatt et al. fanden bei übergrossen LV-Volumen eine eingeschränkte Genauigkeit der echokardiographischen Bestimmung (2).
Die hier gemessenen Durchmesser: der Durchmesser zu Beginn des QRS-Komplexes, der maximale und der minimale Durchmesser, werden in Anlehnung an McDonald et al. als Durchmesser am Ende der Diastole (LVEDD), als Durchmesser zu Beginn der Austreibungszeit (LVDe) und als Durchmesser am Ende der Systole (LVESD) bezeichnet (34). Crawford et al. dagegen bezeichneten den enddiastolischen Durchmesser als etwa 35 msec nach dem Beginn des QRS--Komplexes und am Beginn der mechanischen Systole gelegen (10). Doch den grössten Durchmesser einfach mit dem enddiastolischen Durchmesser gleichsetzen, wollten Crawford et al. nicht, da in der isovolumetrischen Phase die Ventrikelform sich ändern und dabei eine Zunahme des LV-Durchmessers, jedoch ohne jegliche Volumenveränderung, gemessen werden könne (10).
Zur Bestimmung der Endsystole gibt es verschiedene Vorschläge. Die einen betrachten den kleinsten LV-Durchmesser als am Ende der Systole gelegen, andere wiederum verwenden die Spitze der Hinterwandbewegung zur Festlegung, Crawford et al. messen den endsystolischen Durchmesser, indem sie die Strecke zwischen der Spitze der Septumbewegung und der Spitze der Hinterwandbewegung ausmessen (10)(vgl. dazu Abbildung 3).

Jamarkani et al. fanden bei Ventrikelseptumdefekt (VSD) oder offenenm Ductus Botalli (PDA) mit Links-Rechts--Shunt von mehr als 35 %, dass das linksventrikuläre

enddiastolische Volumen gegenüber der Norm vergrössert war (27).
Dementsprechend ergeben sich hier für alle LV-Durchmesser der jüngeren Gruppe der Links-Rechts-Shunt-Vitien (VSDAVC jünger als ein Jahr) Werte, die über denen der Gruppe mit den normalen Herzbefunden (N jünger als ein Jahr) und der Gruppe mit den Links-Rechts-Shunt-Vitien mit pulmonaler Hypertonie (PH jünger als ein Jahr) liegen.
Durch den Vergleich mit Jamarkani et al. ist hier von der Annahme auszugehen, dass die Links-Rechts-Shunts in der jüngeren Altersklasse relativ grösser sind als die Shunts in der Altersklasse über einem Jahr, dies wird auch durch höhere Werte des Quotienten Qp/Qs bestätigt (siehe 6.1. Anhang Tabelle 2).

4.B.2. Zeitverhältnisse

4.B.2.1. Die Zyklusdauer (ZD)

Die Bestimmung der Zyklusdauer wird normalerweise an den R-Zacken des simultangeschriebenen EKGs durchgeführt. Hier wird jedoch infolge des Programms des Auswertesystems der Beginn des QRS-Komplexes zur Bezeichnung des Anfangs eines Zyklus verwendet. (Entsprechend der Methode der American Society of Echocardiography (ASE), vgl. (10;43))
Die um 100 msec kürzere Zyklusdauer der Gruppe PH älter als ein Jahr wird vorallem auf das jüngere Durchschnittsalter zurückzuführen sein. Das Altersmittel liegt bei 4,16 Jahren doch der Altersmedian liegt bei 2 Jahren. Betrachtet man dazu unter diesem Aspekt die Körperoberfläche (KOF), so findet sich als Mittelwert für die KOF ein Wert von 0,57 m^2. Der Normalwert für ein Alter von 4,16 Jahren läge jedoch etwa zwischen 0,65 und 0,70 m^2. Auch der Medianwert der KOF mit 0,45 m^2 liegt unter der Norm, gemäss eines Medianwertes von 2 Jahren würden ungefähr 0,55 m^2 KOF erwartet.
Das bedeutet, dass zusätzlich zum geringeren Alter gegenüber den Gruppen N und VSDAVC ein erkennbarer Entwicklungsrückstand für eine kürzere Zyklusdauer (bzw. höhere Herzfrequenz) verantwortlich ist.

4.B.2.2. + 3. Die Zeitpunkte im Zyklus
(t_{LVDe}, t_{LVESD}, t_{Vcfmax} und t_{LRmax})

Eine Untersuchung der Zeitpunkte im Zyklus findet sich in ähnlicher Weise bei St. John Sutton et al. (50). Dort wurden bei 50 normalen Neugeborenen für die Zeitabstände zwischen dem Beginn des QRS-Komplexes und dem minimalen Durchmesser 282 ± 28 msec und zwischen dem Beginn des QRS-Komplexes und der maximalen diastolischen Dimensionsänderungsrate 340 ± 26 msec gemessen (50).
Diese Werte liegen etwas später im Zyklus als die entsprechenden Zeitpunkte (t_{LVESD}: 249 ± 21 msec und t_{LRmax}: 312 ± 36 msec) der vorliegenden Studie in der Gruppe N jünger als ein Jahr.
Diese Verschiebung ist auf eine niedrigere mittlere Herzfrequenz mit 127 ± 17 min^{-1} (2 SD) bei den von St. John Sutton et al. untersuchten Neugeborenen zurückzuführen. Es zeigen sich nämlich in dieser Studie für die Zeitpunkte im Zyklus, besonders für die Zeitpunkte des LVESD und der LR_{max}, eine Abhängigkeit von der Herzfrequenz. In der Altersklasse über einem Jahr ist die Abhängigkeit der Zeitpunkte im allgemeinen noch stärker ausgeprägt als bei den jüngeren Kindern.
Kugler et al. untersuchten den Zeitpunkt der maximalen zirkumferentiellen Faserverkürzungsgeschwindigkeit auf eine Abhängigkeit von der Herzfrequenz und fanden eine Korrelation mit r = -0,66 (31).
Hier liegt mit r = -0,61 (als dem besten Gruppenwert) bei der Gruppe N älter als ein Jahr eine etwas geringere Abhängigkeit vor.
Diese Abhängigkeit der Zeitpunkte im Zyklus von der Herzfrequenz lässt die Tendenz erkennen, dass bei verkürzter Zyklusdauer jeder einzelne Zeitabschnitt im Zyklus entsprechend verkürzt wird und somit gewisse Proportionen im Zyklus gewahrt bleiben.

4.B.3. Die schematische Darstellung des LV-Kontraktionsablaufs

Die Zusammenstellung der in 3.B.2. gefundenen Ergebnisse veranschaulicht die oben erwähnte Tendenz im Zyklusablauf. Hier lassen sich sowohl die LV-Durchmesser und ihr Verhältnis zueinander, als auch die Zeitverhältnisse der Zeitabschnitte im Zyklus auf einen Blick erkennen. Da jeweils nur die Mittelwerte eingetragen sind, wird ein relativ klares Bild vermittelt. So fällt auf, dass die Gruppe N jünger als ein Jahr in ihrer Altersklasse deutlich grössere LV-Durchmesser aufweist und dass bei den Älteren die Gruppe PH die kleinsten Durchmesser und die kürzeste Zyklusdauer hat.
Bezieht man die Streubreite mit ein, dann werden die Differenzen verwischt und die Möglichkeit einen Einzelfall in eine Gruppe einzuordnen wird unmöglich.

4.B.4. Kontraktilitätsindizes

Die echokardiographisch bestimmbaren Kontraktilitätsindizes sind die Shortening Fraction (SF), die das Durchmesserverhältnis zwischen Enddiastole und Endsystole ohne Abhängigkeit von der Zeit beinhaltet, die maximalen zirkumferentiellen Faser-verkürzungs-(bzw. -verlängerungs-) -geschwindigkeiten (Vcf_{max} und LR_{max}) und die mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean}), die die Dimensionsänderung in Abhängigkeit von der Zeit zum Ausdruck bringen.

Alle diese Parameter zeigen das Ausmaß der Muskelverkürzung. Dieses Ausmaß der Herzmuskelverkürzung wird von den Faktoren beeinflußt: Preload (Vorlast), Afterload (Nachlast) und der Myokardkontraktilität (Gibson 19). Parker et al. untersuchten den Einfluß des LV-Füllungsdruckes auf den Frank-Starling-Mechanismus. Sie fanden, dass der Frank-Starling-Mechanismus nur bei einem Füllungsdruck unter 10 mmHg funktioniert. Bereits im Liegen wird, so Parker et al., ein Füllungsdruck nahe 10 mmHg und damit das maximale enddiastolische Volumen erreicht. Unter 10 mm Hg gibt es eine enge direkte Relation zwischen Füllungsdruck und Schlagarbeit, während sich bei Druckwerten über 10 mmHg ein Plateau einstellt (36).

Sasayama et al. fanden, dass die echokardiographisch bestimmte Verkürzungsgeschwindigkeit der Ventrikelwand (Vcf_{mean}) bei konstanter Vorlast (Preload) umgekehrt proportional zur Höhe der Nachlast (Afterload) ist. Doch als Reaktion auf eine mässige, akute Druckspannung zeigt der normale menschliche Ventrikel nur kleinere Veränderungen in der Vcf, da die Preload-Reserve (der Frank-Starling-Mechanismus) die mässige, akute Druckspannung abschwächt. Wird jedoch die Grenze der Preload-Reserve erreicht, dann nimmt die Vcf ab, ein Ungleichgewicht zwischen Afterload und der Höhe der Kontraktilität tritt ein (45). Schinz fand in seiner Untersuchung keinen Einfluß der Vorlast (Preload) auf die Vcf_{mean}, für die Nachlast (Afterload) jedoch konnte er mit einem Korrelationskoeffizienten

von r = -0,48 eine Abhängigkeit der Vcf_{mean} nachweisen (46). Auch Parisi et al. gehen davon aus, dass kein Einfluss durch die Vorlast (Preload) auf die Vcf_{mean} ausgeübt wird, die Nachlast (Afterload) sich dagegen auf die Vcf_{mean} auswirkt (35). Fisher et al. fanden bei ihrer dritten Gruppe mit LV-Volumen Overload eine gegenüber den Normalbefunden signifikante Reduktion der Vcf_{mean} mit 1,48 ± 0,40 sec^{-1} (14). Fortuin et al. dagegen beobachteten bei kompensierter Volumen-Überlastung (Overload) keine Veränderung der Vcf_{mean} gegenüber den Normalbefunden (15).

Aus dem Bereich der Physiologie wurde unter muskelphysiologischen Gesichtspunkten nach einem Mass für die Kontraktilität ohne die Beeinflussung von Preload und Afterload gesucht. Die Maximalgeschwindigkeit der lastfreien Verkürzung (V_{max}) als Mass der myokardialen Leistungsfähigkeit wurde von Jacob et al. am hypertrophierten Myokard untersucht (26). Jacob et al. fanden am hypertrophierten Myokard eine Reduktion der V_{max} verbunden mit einer Zunahme der Kontraktionskraft. Es zeigte sich, dass die V_{max} als muskelphysiologisch relevante Grösse nicht in der Lage ist, die Leistungsfähigkeit des hypertrophierten Herzens ausreichend zu beschreiben. Gemeinsam mit Gibson und Ross et al. sehen sie die V_{max} als ungeeignet an, um den klinischen Zustand des Herzens ausreichend zu beschreiben (19;26;36). Raff et al. versuchten den Wendepunktsquotienten dp/dt_{max} : IP als Mass für die myokardiale Leistungsfähigkeit zu bestätigen, doch sie fanden, dass gegenüber der V_{max} kein Vorteil zu erzielen ist (37).

Die myokardiale Leistungsfähigkeit, die letztendlich auf der spezifischen Enzymaktivität des "Kontraktilen Elements" beruht, kann durch herzwirksame Medikamente oder durch die Konzentration der Ca^{++}- oder K^{+}-Ionen beeinflußt werden. Sandor et al. und Stefan et al. untersuchten solche Auswirkungen (44;51).

Sandor et al. untersuchten die Auswirkungen von unterschiedlichen Digoxin-Blutspiegeln auf die systolischen Zeitintervalle und fanden, dass die bewirkte Verbesserung

der Herzleistung von der Höhe des Digoxinspiegels unabhängig ist (44). Stefan et al. fanden deutliche Auswirkungen verschiedener herzwirksamer Medikamente auf die Vcf_{max} und die Vcf_{mean} (51).
Obwohl Jacob et al. es für prinzipiell unmöglich halten, die wesentlichen Aspekte des Kontraktionsgeschehens auf der Grundlage einer einzelnen Masszahl zu erfassen (26), hat sich im Bereich der Echokardiographie die SF, als nützlicher Index der LV-Funktion, und die Vcf_{mean}, als vereinfachte Methode zur Messung der Kontraktilität (28) bzw. als Ausdruck der basalen Kontraktilität (39), durchgesetzt.
Die Bestimmung dieser Parameter, der SF und der Vcf, ist mit einfachen Methoden möglich. So schreibt Gibson, daß die Vcf_{mean} mit einfachen Techniken leichter zu bestimmen ist als die Vcf_{max} (19). Doch Stefan et al. zeigten, dass auch die Bestimmung der Vcf_{max} mit der von ihnen entwickelten Schablone recht einfach möglich ist und nicht unbedingt den Einsatz von Computern erfordert (51). Normalerweise jedoch erfolgt die Bestimmung der Vcf_{max} mit einem Computer, der wohl die Vcf_{max} am exaktesten zu berechnen vermag (20;40;52).
Nicht nur die echokardiographische Bestimmung der LV-Durchmesser wurde durch angiographische Untersuchungen nachgeprüft, auch die echokardiographisch bestimmten maximalen Wandbewegungen (Vcf_{max} und LR_{max}) sowie die mittlere Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean}) wurden durch die Angiographie bestätigt (21;2;8;9;29;41). Von Clark et al. und Lapido et al. wurden echokardiographische Serienuntersuchungen durchgeführt , sie fanden eine gute Reproduzierbarkeit und geringe Streubreite der Ergebnisse, auch Björkhem und Felner et al. kamen zu bestätigenden Ergebnissen (4;7;11;32).

Fragt man nach dem Unterschied zwischen der SF und der Vcf_{mean}, dann findet sich, nicht unerwartet, dass sowohl mit der Vcf_{mean} als auch mit der SF im allgemeinen die gleiche Patienten- und Gruppenselektion erfolgt, da beide Grössen sich nur durch 1/Ejection Time (ET) unterscheiden (15). Nur bei speziellen Patienten (deren ET deutlich von der Norm abweicht) zeigen sich Unterschiede (15).
Parisi et al. sieht bei Klappenerkrankungen oder primären Myokardschädigungen keinerlei praktischen Vorteil der Vcf_{mean} gegenüber der SF (35).
Schinz, von angiographischen Erfahrungen ausgehend, hält die Vcf_{mean} für sensitiver als die SF, schränkt jedoch ein, dass bei sehr hohen Herzfrequenzen eventuell die SF bessere Beurteilung der Ventrikelfunktion bietet (46).

4.B.4.1. Die Shortening Fraction (SF)

Gutgesell et al. bezeichneten die prozentuale Durchmesserverkürzung während der Systole (% LVD) als nützlichen, alters- und frequenzunabhängigen Index der LV-Funktion bei Kindern, da er während der Kindheit relativ konstant bleibt. Sie fanden für die SF einen Mittelwert von 36 ± 4 % (SD) (23).
Björkhem berechnete für die Kinder unter einem Jahr eine mittlere SF von 33 % (bei Werten, die zwischen 28 % und 42 % lagen) und für die Kinder über einem Jahr bis 19 Jahren einen Mittelwert von 34 ± 4 % (SD) (4).
Kugler et al. bekamen bei normalen Kindern für die SF durch zwei verschiedene Berechnungsmethoden zwei verschiedene Ergebnisse, zum einen 35,5 % ± 0,97 (SEM) und zum anderen 36,37 % ± 0,71 (SEM); bei Kindern mit einem offenen Ductus Botalli (PDA) zeigte sich kein Mittelwertsunterschied gegenüber den Normalbefunden (31).
Fortuin et al. fanden bei normalen, jugendlichen Erwachsenen (Altersmittel 22,4 Jahre) eine SF von 23,7 ± 4,0 % (15).
Auch Crawford et al. verwendeten zwei verschiedene Methoden, allerdings bei Erwachsenen. Sie fanden für die SF sowohl 33 ± 5 % als auch 38 ± 5 % (10).
McDonald et al. und Stefan et al. berechneten ebenfalls für Erwachsene Mittelwerte der SF und bekamen 35,5 ± 3,9 % bzw. 36 ± 4,4 % als Ergebnis (34;51).
Mit diesen Ergebnissen wird die von Gutgesell et al. gemachte Beobachtung der Altersunabhängigkeit voll unterstützt (23).
Die vorliegende Studie hat für die SF einen Mittelwert von 36,5 ± 6,7 % (SD) und liegt damit auf gleichem Niveau wie die anderen Studien. Nur die Standardabweichung (SD) von 6,7 % ist etwas grösser als bei den vergleichbaren Arbeiten.

4.B.4.2. Die maximale zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max})

Die Vcf_{max} wurde von Gibson bzw. Gibson et al. und Upton et al. als "Peak Rates of Shortening of Left Ventrikular Minor Axis" beschrieben (19;20;52). Ursprünglich war die Vcf_{max} als Ausdruck für die maximale Dimensionsänderungsgeschwindigkeit mit der Einheit cm/sec gedacht, da sich jedoch die Abhängigkeit von der Herzgrösse zu sehr auswirkte, wurde nach einem Weg gesucht, diesen Faktor auszuschalten.
Zwei Möglichkeiten der "Normalisierung" boten sich an:

1. eine Division der Dimensionsänderungsgeschwindigkeit durch den enddiastolischen Durchmesser (19;31) und
2. eine Division der Dimensionsänderungsgeschwindigkeit durch den aktuellen Durchmesser, d.h. durch den Durchmesser zu dessen Zeitpunkt sie gerade stattfindet (20).

Durch eine solche "Normalisierung" entsteht dann die Dimensionsänderungsrate mit der Einheit sec^{-1} (Vcf) und kann beim Einsatz eines Computers als Kurve der 1. Ableitung von der Geschwindigkeit gezeichnet werden (vgl. Abbildung 3). Auch kann man durch diese Normalisierung die Dimensionsänderungsrate Vcf_{max} (sec^{-1}) von Herzen mit unterschiedlichen Diametern miteinander vergleichen (20).
Diese Kurve der 1. Ableitung zeigt an, wann der Ventrikel erweitert oder verkleinert wird, dabei sind die Vcf_{max} und die LR_{max} jeweils die Peak-(Maximal-)Werte dieses Kurvenzuges. Da die Messtablett - Rechner - Einheit im allgemeinen sehr empfindlich reagiert, hat es sich als nützlich herausgestellt, den Kurvenverlauf zu "glätten". So glättet Gibson et al. mit einem 'triangular'-Filter und führt damit eine 3-Punkt-Glättung durch (20).
Auch in der vorliegenden Studie wird geglättet, hier wird eine als 'einfach' bezeichnete Glättung durchgeführt. Prizipiell handelt es sich jedoch in beiden Fällen um dieselbe Art der "Glättung". Durch die

Glättung wird auch die Reproduzierbarkeit der Werte erhöht (16).
In wie weit jedoch die Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen der Vcf_{max} und der LR_{max} miteinander verglichen werden können, ist nicht geklärt (hier zeigte sich, dass von Gibson et al. bestimmte Echokardiogramme andere, höhere Peakwerte aufweisen als die selben Echokardiogramme mit der hier verwendeten Apparatur).
Die Betrachtung der Normalbefundwerte für die Vcf_{max} zeigt in den einzelnen Studien kein gleiches Niveau. So berechnete Björkhem für die Kinder unter einem Jahr einen Mittelwert von 4,9 sec^{-1} (bei einer Spanne von 3,7 bis 7,0 sec^{-1}) und für die Kinder über einem Jahr einen Wert von 3,6 ± 0,8 sec^{-1} (4).
Kugler et al. fanden bei den über den enddiastolischen LV-Durchmesser normalisierten Peakwerten (peakVcf) für die Kinder unter einem Jahr 2,52 sec^{-1} ± 0,15 (SEM) (bei einer Spanne von 0,87 bis 3,57 sec^{-1} und einer Herzfrequenz von 130 min^{-1} ± 3 (SEM)) und für über einem Jahr 2,07 sec^{-1} ± 0,07 (SEM) (bei einer Herzfrequenz von 83 min^{-1} ± 3 (SEM)). Bei der Vcf_{max}, die durch den aktuellen Durchmesser normalisiert wurde (peakVcf'), lagen für die Kinder unter einem Jahr die Werte zwischen 1 und 3,88 sec^{-1} (31).
St. John Sutton et al. berechneten für normale Neugeborene eine mittlere Vcf_{max} von 3,8 ± 1,0 sec^{-1} (50).
In der vorliegenden Studie zeigen die Werte der Jüngeren einen Mittelwert von 3,72 ± 0,62 sec^{-1} (SD) und bei den Älteren einen Mittelwert von 2,94 ± 0,60 sec^{-1} (SD). Diese Werte von Kindern liegen im Vergleich mit den Normalwerten der Erwachsenen auf einem höheren Niveau, Gibson gibt für die Vcf_{max} normaler Erwachsener den Bereich zwischen 1,3 und 2,5 sec^{-1} an und Stefan et al.

haben als Normwert 2,408 ± 0,319 sec^{-1} (19;51).
Für die Vcf_{max}-Werte bei Kindern mit offenem Ductus Botalli (PDA) als Links-Rechts-Shunt fanden Kugler et al. keine Unterschiede gegenüber den Normalwerten (31).
In dieser Studie sind die Werte bei den Links-Rechts--Shunt-Vitien etwas höher als die Normalwerte. So findet sich bei der Gruppe VSDAVC jünger als ein Jahr 4,10 ± 1,11 sec^{-1} und bei der Gruppe VSDAVC älter als ein Jahr 3,11 ± 0,71 sec^{-1}.

4.B.4.3. Die maximale Lengthening Rate (LR_{max})

Der maximalen Lengthening Rate kommt im Gegensatz zur Vcf_{max} kaum eine Bedeutung zu.
So lennten Kugler et al. die Normalisierung der maximalen Relaxationsgeschwindigkeit ab, weil keinerlei Korrelation zu Herzfrequenz, Alter, enddiastolischem oder endsystolischem Durchmesser bestünde (31).
Bei Björkhem finden sich Werte für die LR_{max}. Sie berechnete für die Gruppe unter einem Jahr 5,2 sec^{-1} (bei einer Spanne von 3,0 bis 9,3 sec^{-1}) und für die Älteren einen Mittelwert von ebenfalls 5,2 ± 1,5 sec^{-1} (4).
In dieser Studie liegen die Werte der LR_{max} in den entsprechenden Altersklassen bei 5,67 ± 1,25 sec^{-1} und bei 4,78 ± 1,34 sec^{-1}.

4.B.4.4. Die mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean})

Die Vcf_{mean} wird im Gegensatz zur Vcf_{max} wesentlich häufiger zur Beurteilung der LV-Kontraktilität herangezogen. Die Vcf_{mean} wird als geeignetes Mass für die basale Kontraktilität angesehen (39) oder als verlässliche Methode zur LV-Funktionsbeurteilung bezeichnet, wenn keine Vorderwanddyskinesien vorhanden sind (8). Karliner et al. bezeichneten die angiographisch bestimmte Vcf_{mean} als eine vereinfachte Metnode zur Beurteilung der LV-Kontraktilität (29). Nachdem nun in mehreren Studien die echokardiographische Bestimmung der Vcf_{mean} auch angiographisch verifiziert wurde (2;9; 29;41), kommt zu dieser vereinfachten Methode auch noch eine vereinfachte Erfassung dazu.
Doch bei der Festlegung der, zur Bestimmung der Vcf_{mean} notwendigen, LV-Durchmesser (siehe dort) und der Bestimmung der Austreibungszeit (ET) gibt es verschiedene Meinungen.
Cooper et al. berechneten die Austreibungszeit vom Peak des QRS-Komplexes bis zum Maximum der Vorwärtsbewegung der Hinterwand, abzüglich 50 msec, wenn keine nennenswerte Faserverkürzung stattgefunden hat (9).
Fortuin et al. erhielten die ET, indem sie die Zeit vom Beginn bis zum Maximum der Vorwärtsbewegung der Hinterwand bestimmten (15).
Und McDonald et al. bestimmten die ET als die Zeit zwischen dem maximalen (De) und dem minimalen (Ds) Durchmesser (34). Nach dieser Methode wurde auch die Berechnung der Vcf_{mean} in der vorliegenden Studie durchgeführt.
(Vgl. Abbildung 3; die Kurve der 1. Ableitung (Gibson (20))

Die Normalwerte der verschiedenen Studien liegen bei 1,84 ± 0,63 sec^{-1} (Fisher et al. (14)), bei 1,51 ± 0,04 sec^{-1} (SEM) (Sahn et al. (41)) und für unter einem Jahr bei 1,74 sec^{-1} (zwischen 1,51 und 2,41 sec^{-1}) und für über einem Jahr bei 1,33 ± 0,19 sec^{-1} (zwischen 0,95 und 1,71 sec^{-1}) (Björkhem (4;5)).
Hier nun finden sich Studien, die über die Vcf_{mean} Veränderungen in der Kontraktilität des linken Ventrikels bei Links-Rechts-Shunts nachzuweisen suchen.
V. Bibra et al. ging von der oben erwähnten Voraussetzung aus,dass die Vorlast (Preload) keinen Einfluss auf die Vcf hat, während eine verringerte Nachlast (Afterload) zu einer Zunahme der Vcf_{mean} führt. Es wurde die Herzkontraktilität bei offener und geschlossener arteriovenöser Dialysefistel gemessen, dabei zeigte sich ein nicht signifikanter Abfall der Vcf_{mean} von 1,12 ± 0,1 sec^{-1} auf 1,08 ± 0,07 sec^{-1} (SE). Dieser Abfall der Vcf_{mean} ist vor allem auf eine Zunahme der Austreibungszeit (ET) von 317 ± 7 msec (SE) auf 324 ± 7 msec (SE) bei einer Frequenzabsenkung von 82 ± 4 min^{-1} auf 76 ± 5 min^{-1} zurückzuführen, denn es finden sich keine Änderungen bei den LVEDD und den LVESD als möglichen Einflussgrössen der Vcf_{mean} (3).
Sahn et al. fanden bei grossen Links-Rechts-Shunts, bei Ventrikelseptumdefekt (VSD) und offenem Ductus Botalli (PDA), eine deutliche Zunahme der Vcf_{mean}.
Während die Vcf_{mean} bei den Normalbefunden einen Mittelwert von 1,5 ± 0,04 sec^{-1} (SE) aufwies, zeigte die Gruppe der grossen Ventrikelseptumdefekte einen Wert von 2,12 ± 0,08 sec^{-1} (SE) und die Gruppe der grossen Links-Rechts-Shunts bei offenem Ductus Botalli einen Wert von 2,10 ± 0,14 sec^{-1} (SE). Für die kleinen Links-Rechts--Shunts bei offenem Ductus Botalli fand sich nur eine geringe Erhöhung auf 1,63 ± 0,04 sec^{-1} (SE) gegenüber der Norm (42).

In der vorliegenden Studie findet sich für die Gruppe VSDAVC in der Altersklasse unter einem Jahr ein Wert von 1,79 ± 0,37 sec^{-1} (SD), der nur leicht erhöht ist gegenüber der Norm (1,71 ± 0,29 sec^{-1} (SD)). Und in der Altersklasse über einem Jahr liegt die Gruppe VSDAVC mit 1,36 ± 0,31 sec^{-1} (SD) sogar unter dem Mittelwert der Norm (1,38 ± 0,30 sec^{-1} (SD)). Damit spiegelt sich die in den einzelnen Gruppen unterschiedliche Nachlast hier nicht so im Wert der Vcf_{mean} wieder, wie es an anderer Stelle beschrieben wurde.

4.B.5. Korrelationen der Vcf_{max} mit der Vcf_{mean} und der HF

4.B.5.1. Die Korrelation der Vcf_{max} gegen die Vcf_{mean}

Nur selten werden die Vcf_{max} und die Vcf_{mean} gemeinsam in einer Studie bestimmt.
So bringt Björkhem Ergebnisse sowohl für die Vcf_{max} als auch für die Vcf_{mean}. Sie fand bei Kindern unter einem Jahr eine Vcf_{max} von 4,9 sec^{-1} (bei einer Spanne von 3,7 bis 7,0 sec^{-1}) und eine Vcf_{mean} von 1,74 sec^{-1} (bei einer Spanne von 1,51 bis 2,41 sec^{-1}). Bei den Kindern über einem Jahr fanden sich für die Vcf_{max} 3,6 ± 0,8 sec^{-1} und für die Vcf_{mean} 1,33 ± 0,19 sec^{-1}. Allerdings stammen die Ergebnisse nicht von identischen Gruppen (4).
Auch Kugler et al. berechneten die Vcf_{max} und die Vcf_{mean}, doch ist wegen fehlender Zahlenangaben kein Vergleich möglich (31).
Stefan et al. bringen in ihrer Normwerttabelle (sie berücksichtigt jedoch nur die Erwachsenen) für die Vcf_{max} 2,408 ± 0,319 sec^{-1} und für die Vcf_{mean} 1,286 ± 0,168 sec^{-1} (51).
In dieser Studie werden nicht nur sowohl die Vcf_{max} und die Vcf_{mean} berechnet, sondern darüberhinaus auch auf eine gegenseitige Abhängigkeit mittels einer Korrelation überprüft. Es findet sich dabei ein Korrelationskoeffizient von r = 0,89 und damit eine sehr hohe Korrelation. Das bedeutet, die Vcf_{max} und die Vcf_{mean} sind in ihrer Aussagekraft kaum verschieden.

4.B.5.2. Die Korrelation der Vcf_{max} gegen die HF

Da eine Einflussnahme der Herzfrequenz auf die zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit in der Literatur beschrieben wird, wurden hier die Vcf_{max} und die HF miteinander korreliert.
Stefan et al. führten eine elektrische Vorhofstimulation durch und konnten bei Herzfrequenzen von über 130 min^{-1} eine Zunahme der Vcf_{max} um 33 % und der Vcf_{mean} um 37 % gegenüber der Ruhefrequenz nachweisen (51).
Fisher et al. fanden eine hohe, signifikante Korrelation zwischen der Vcf_{mean} und dem R-R-Intervall und dem Alter (14).
Gutgesell et al. wiesen bei Kindern nach, dass die Vcf_{mean} bei einer rascheren Herzfrequenz erhöht ist (23).
Kugler et al. berechneten für die Korrelation der Vcf_{mean} gegen die HF ein r von 0,65 und für die Korrelation der Vcf_{max} gegen die HF ein r von 0,48 (31).
Björkhem fand eine Korrelation mit r = 0,56. Sie bezeichnete diese Korrelation zwischen der Vcf_{mean} und der HF und dem Alter als schwach (4).
Betrachtet man die Ergebnisse aus dieser Studie, so zeigt sich in den verschiedenen Gruppen und Altersklassen ein sehr uneinheitliches Bild. Die Werte der einzelnen Korrelationskoeffizienten sind so unterschiedlich, dass eine direkte Abhängigkeit fraglich wird.

5. ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Studie werden zwei Kollektive von Kindern in M-mode-Technik echokardiographisch untersucht.
Das erste Kollektiv (n = 70) wird auf Korrelationen zwischen dem Quotienten RPEP/RVET (bzw. bei einer Transposition der grossen Gefässe (TGA): LPEP/LVET) und den Pulmonalarteriendrucken, dem diastolischen, dem systolischen und dem mittleren Druck, untersucht.
Es finden sich nur sehr niedrige Werte für die Korrelationskoeffizienten. Die Korrelation mit dem diastolischen Pulmonalarteriendruck beträgt r = 0,22.
Das zweite Kollektiv (n = 105) besteht aus drei Gruppen, die jeweils in zwei Altersklassen, jünger als ein Jahr und älter als ein Jahr, unterteilt sind. Es sind Kinder mit Links-Rechts-Shunt-Vitien ohne pulmonaler Hypertonie (VSDAVC), Kinder mit Links-Rechts-Shunt-Vitien mit pulmonaler Hypertonie (PH) und Kinder mit normalen Herzbefunden (N).
Mittels computergestützter Auswertung werden am linken Ventrikel die Durchmesser (LVEDD, LVDe und LVESD), die Zeitverhältnisse (ZD, t_{LVDe}, t_{LVESD}, t_{Vcfmax} und t_{LRmax}) und die Kontraktilitätsindizes (SF, Vcf_{max}, LR_{max} und Vcf_{mean}) bestimmt. Ausserdem werden die Korrelationen der Vcf_{max} mit der Vcf_{mean} und der Herzfrequenz berechnet und aus LV-Durchmessern und Zeitverhältnissen wird eine schematische Zyklusdarstellung "konstruiert".
Signifikante Unterschiede finden sich zwischen den Altersklassen, in den Altersklassen dagegen gibt es nur zwischen den Gruppen N und PH (älter als ein Jahr) für die Zyklusdauer (ZD) mit p = 0,05 einen statistisch signifikanten Unterschied.
Bemerkenswert sind die vergrösserten LV-Durchmesser der Gruppe VSDAVC gegenüber den beiden anderen Gruppen in der jüngeren Altersklasse bei nahezu identischer Zyklusdauer. Im Gegensatz dazu zeigt in der älteren Altersklasse die

Gruppe N die grössten Durchmesser verknüpft mit der längsten Zyklusdauer und die Gruppe PH die kleinsten Durchmesser bei der kürzesten Zyklusdauer.
Bei den Kontraktilitätsindizes findet sich für die Shortening Fraction (SF) ein Gesamtmittelwert von 36,5 % ± 6,7 (SD). Die maximale zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{max}) hat zwischen den Altersklassen der beiden N-Gruppen mit $p = 0,01$ und der beiden VSDAVC-Gruppen mit $p = 0,05$ signifikante Unterschiede, wobei die Jüngeren sich rascher kontrahieren. In den Altersklassen zeigen jeweils die Gruppen N die geringsten Mittelwerte, bei den Jüngeren hat die Gruppe VSDAVC und bei den Älteren die Gruppe PH die höchsten Mittelwerte. Die Lengthening Rate (LR_{max}) hat in beiden Altersklassen gleiche Tendenzen: die Gruppen N liegen auf niedrigstem Niveau, die Gruppen VSDAVC liegen darüber und die Gruppen PH weisen die höchsten Werte auf, dabei zeigen die Jüngeren raschere Werte für die Dilatation. Die mittlere zirkumferentielle Faserverkürzungsgeschwindigkeit (Vcf_{mean}) besitzt signifikante Unterschiede zwischen den beiden Altersklassen der Gruppen N und VSDAVC jeweils mit $p = 0,01$. In der jüngeren Altersklasse liegt der Mittelwert für die Gruppe N unter denen der beiden anderen Gruppen, bei den Älteren dagegen liegt der Mittelwert der Gruppe N zwischen den Werten der Gruppen VSDAVC und PH. Die Korrelation zwischen Vcf_{max} und Vcf_{mean} ergibt einen Gesamtkorrelationskoeffizienten von $r = 0,89$ und damit eine hohe Übereinstimmung. Für die Korrelation der Vcf_{max} gegen die Herzfrequenz kann jedoch eine klare Abhängigkeit nicht gefunden werden.
Als Fazit muss festgestellt werden, Tendenzen sind erkennbar, doch bietet die M-mode-Echokardiographie für diese Aufgabenstellung der Beurteilung hämodynamischer Veränderungen unter normalen klinischen und ambulanten Bedingungen nicht genügend Sicherheit, um auf andere, invasive Methoden verzichten zu können.

6. ANHANG

6.1. Tabellen

Tabelle 1 (Kollektiv A):

	Nr.		RPEP/RVET	PADP	PASP	$\overline{PAP}$
I	1		0,33	28	88	57
	2		0,31	20	65	40
	3		0,35	15	60	34
	4		0,33	5	29	13
	5		0,44	20	40	26
	6		0,37	18	48	28
	7		0,29	12	52	26
	8		0,34	10	21	13
	9		0,35	12	34	21
	10		0,27	40	60	45
	11		0,39	65	90	72
	12		0,47	5	31	14
	13		0,56	32	87	53
	14	TGA	0,31	14	44	20
	15		0,32	15	30	18
	16		0,31	10	26	12
	17		0,50	30	69	46
	18		0,38	35	85	53
	19		0,275	16	34	23
	20		0,41	35	88	53
	21		0,43	38	70	48
	22		0,26	15	65	32
	23		0,38	40	100	60
	24		0,22	10	52	30
	25		0,41	35	80	57
	26	TGA	0,49	8	65	33
	27	TGA	0,22	5	66	30
	28	TGA	0,278	40	80	65
	29		0,26	18	60	35
	30		0,56	28	56	41
	31		0,42	40	69	54
	32		0,30	16	63	38
	33		0,35	12	42	20
	34		0,60	27	43	33

Tabelle 1 (Kollektiv A) Fortsetzung:

	Nr.		RPEP/RVET	PADP	PASP	$\overline{PAP}$
	35		0,27	9	17	11
	36		0,27	14	34	23
	37		0,26	10	32	20
	38		0,29	33	90	62
	39		0,50	17	39	25
	40		0,375	35	90	60
	41		0,35	26	54	34
	42		0,56	20	90	40
	43		0,26	35	80	50
	44		0,35	53	95	70
	45		0,38	48	73	63
II	1		0,35	40	70	48
	2		0,37	50	70	55
	3		0,33	30	90	48
	4		0,42	17	78	42
	5		0,41	25	75	35
	6		0,47	28	91	70
	7		0,39	12	63	40
	8		0,64	40	108	65
	9	HLHS	0,38	25	75	43
	10	HLHS	0,38	37	70	45
	11		0,51	20	60	33
III	1		1,17	36	65	46
	2		1,11	56	96	69
	3		0,62	60	106	76
	4	EFE	0,50	14	30	18
	5	EFE	0,56	35	95	55
	6		0,35	35	90	56
	7		0,71	32	44	37
	8		0,53	20	60	35
	9	EFE	0,47	18	32	22
	10		0,29	50	130	75
	11		0,25	60	105	70
	12		0,63	38	70	48
	13		0,16	8	21	12
	14		0,29	30	75	40

Zu Tabelle 2 (Kollektiv B)
Erklärung der Ziffern:

1: Nummer - 001 - 063 = N
- 101 - 123 = VSDAVC
- 201 - 219 = PH

2: Alter Jahr.Monat.Tag am Tag der Echokardiographie
3.1: Vcf_{max} (sec^{-1})
3.2: Zeitpunkt der Vcf_{max}: t_{Vcfmax} (msec)
4.1: LR_{max} (sec^{-1})
4.2: Zeitpunkt der LR_{max}: t_{LRmax} (msec)
5: SF (Shortening Fraction) (%)
6.1: minimaler LV-Durchmesser (LVESD) (mm)
6.2: Zeitpunkt des LVESD: t_{LVESD} (msec)
7.1: maximaler LV-Durchmesser (LVDe) (mm)
7.2: Zeitpunkt des LVDe: t_{LVDe} (msec)
8: LV-Durchmesser zu Beginn des QRS-Komplexes (LVEDD) (mm)
9: Zyklusdauer (ZD) (msec)
10: Herzfrequenz (HF) (min^{-1})
11: Körperoberfläche (KOF) (m^2)
13: Geschlecht: ♀ = weiblich; ♂ = männlich

Nur bei Links-Rechts-Shunt-Vitien (VSDAVC + PH; 101 - 123; 201 - 219):
14: Δ HK - E (Tage) (Differenz zwischen Herzkatheteruntersuchung und Echokardiographie)
15: Pulmonalarteriendrucke (PA-Drucke) (mmHg)
15.1: PADP - diastolischer Wert
15.2: PASP - systolischer Wert
15.3: $\overline{PAP}$ - mittlerer Wert

Qp/Qs: Flowverhältnis
Rp/Rs: Widerstandsverhältnis
Digitalisierung: + oder -

Tabelle 2 (Kollektiv B):

1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	5	6.1	6.2	7.1	7.2	8	9	10	11	12	13
001	00.00.03	2,62	118	4,87	270	22	14	232	18	29	18	410	146	0,20	1,08	2
002	00.00.04	3,83	122	6,89	305	38	10	275	17	55	16	474	127	0,20	1,73	2
003	00.00.07	3,76	114	5,30	311	33	12	248	19	45	17	409	147	0,21	1,63	2
004	00.00.12	3,20	101	4,63	279	33	12	249	19	39	18	425	141	0,19	1,57	1
005	00.00.15	3,63	137	7,34	273	37	12	235	20	37	19	369	163	0,24	1,87	2
006	00.00.22	2,70	148	4,76	318	32	13	288	20	50	19	557	108	0,20	1,34	1
007	00.00.23	3,12	97	6,16	274	36	9	229	15	26	14	400	150	0,18	1,77	2
008	00.00.24	5,02	94	7,35	294	48	11	235	21	19	21	369	163	0,20	2,22	1
009	00.00.25	4,02	131	6,34	337	38	10	255	18	40	17	477	126	0,20	1,77	1
010	00.00.26	3,29	187	5,85	324	33	12	280	20	59	18	421	143	0,20	1,49	1
011	00.01.01	3,63	127	3,65	398	28	13	240	19	43	18	436	138	0,22	1,42	1
012	00.01.02	3,49	137	5,34	300	28	13	220	19	54	18	359	167	0,22	1,69	1
013	00.01.03	3,00	119	3,64	317	33	14	237	22	35	21	451	133	0,20	1,63	2
014	00.01.05	4,27	100	6,27	296	37	12	233	20	43	19	359	167	0,20	1,95	2
015	00.02.12	4,47	166	5,56	294	42	12	229	21	38	21	455	132	0,28	2,20	2
016	00.03.02	4,81	135	7,03	292	46	13	243	25	36	24	425	141	0,30	2,22	2
017	00.03.04	3,63	144	3,88	390	33	16	254	26	55	25	476	126	0,23	1,66	2
018	00.03.25	4,12	117	4,53	285	33	12	222	20	49	18	393	153	0,23	1,91	2
019	00.06.18	4,06	121	5,23	373	36	14	286	23	48	22	464	129	0,33	1,51	2
020	00.06.20	3,81	126	6,65	309	35	11	276	18	40	17	427	141	0,30	1,48	1
021	00.11.18	3,71	117	7,74	303	41	13	265	23	24	22	450	133	0,38	1,70	1
022	01.01.10	2,76	128	3,10	285	29	15	247	22	46	21	425	141	0,28	1,44	2
023	01.02.22	4,79	127	7,93	302	37	15	247	27	55	24	377	159	0,42	1,93	2
024	01.04.06	2,86	119	4,80	394	31	18	348	27	43	26	491	122	0,41	1,02	1
025	01.06.08	2,91	164	2,81	364	27	21	285	30	72	28	562	107	0,47	1,27	2
026	01.08.04	3,21	133	5,21	362	39	17	295	28	44	27	514	117	0,49	1,55	2
027	01.11.03	4,11	153	8,42	318	48	13	273	26	35	25	468	128	0,50	2,02	1
028	01.11.13	3,71	153	8,82	284	40	20	240	32	29	32	390	154	0,50	1,90	2
029	02.04.12	3,70	180	4,61	395	41	19	310	33	59	32	717	84	0,65	1,63	2
030	02.08.03	2,90	169	4,67	406	39	20	346	35	69	33	563	107	0,65	1,41	2
031	02.08.06	3,08	126	5,47	356	35	22	311	36	56	34	619	97	0,60	1,37	2
032	02.09.10	3,02	160	5,11	380	32	21	283	33	59	32	541	111	0,60	1,43	1
033	02.11.12	2,65	137	4,97	327	37	17	287	28	55	27	516	116	0,50	1,59	2
034	03.01.27	3,44	181	4,39	399	38	21	308	37	79	35	667	90	0,62	1,66	2
035	03.04.09	2,58	216	4,98	406	36	23	329	37	35	35	560	107	0,60	1,22	1
036	03.04.12	3,66	149	5,06	327	40	18	237	31	44	30	475	126	0,70	2,07	1
037	03.04.20	3,08	162	5,22	335	34	19	256	30	54	28	465	129	0,60	1,68	1
038	03.06.25	2,83	116	5,66	417	34	21	320	32	38	31	529	113	0,54	1,18	2
039	03.07.00	2,90	167	4,62	396	41	22	338	38	58	37	651	92	0,74	1,46	1
040	03.07 19	2,95	217	5,05	392	38	20	311	33	72	32	635	94	0,65	1,59	2
041	03.07.20	2,58	213	5,25	434	35	20	357	32	85	31	599	100	0,65	1,29	1
042	03.09.04	3,16	158	5,16	401	38	16	347	28	65	25	651	92	0,64	1,35	2
043	04.02.11	3,36	159	4,19	396	38	22	303	38	62	36	682	88	0,66	1,58	2
044	04.02.29	2,30	207	3,91	413	32	25	339	38	65	37	690	87	0,74	1,17	2
045	05.03.05	2,44	204	3,50	447	35	24	365	38	62	35	775	77	0,75	1,16	2
046	05.10.03	3,29	197	5,91	381	39	20	347	36	69	32	605	99	0,79	1,40	1
047	05.10.29	2,72	199	4,51	397	33	24	358	39	58	37	654	92	0,78	1,10	1
048	06.01.19	3,20	158	5,59	404	38	21	354	37	76	34	670	90	0,86	1,37	2
049	06.02.27	4,22	172	6,16	356	43	21	284	39	47	37	553	108	0,85	1,81	2
050	06.05.04	2,91	233	3,75	417	39	23	344	40	55	37	798	75	0,85	1,35	2

Tabelle 2 (Kollektiv B) Fortsetzung:

1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	5	61	6.2	71	72	8	9	10	11	12	13
051	06.07.22	2,49	189	4,21	421	38	23	382	38	57	36	876	68	0,85	1,17	2
052	06.09.05	2,80	203	4,65	467	37	22	327	36	55	34	655	92	0,96	1,36	2
053	06.10.16	2,01	138	3,76	441	32	25	391	38	62	37	694	86	1,10	0,97	1
054	06.11.06	1,99	184	2,92	433	31	29	367	43	57	42	871	69	1,04	1,00	2
055	07.02.27	2,60	209	4,64	452	35	24	361	39	90	37	921	65	0,92	1,29	2
056	07.08.16	2,29	195	3,76	451	35	24	395	38	76	35	933	64	1,10	1,10	1
057	08.00.28	3,01	181	3,64	397	38	26	295	43	65	41	702	85	0,95	1,65	2
058	08.02.28	2,41	196	4,39	469	37	20	428	34	84	32	734	82	0,89	1,08	2
059	08.05.24	2,77	185	3,09	479	34	25	361	42	76	37	872	69	1,05	1,19	2
060	08.08.16	1,99	213	4,11	348	28	28	363	42	54	40	686	87	1,05	0,91	2
061	08.09.11	3,18	182	4,43	413	39	20	370	36	57	34	706	85	0,92	1,25	2
062	08.11.20	1,87	128	2,57	451	26	28	352	40	52	38	699	86	1,05	0,87	2
063	09.00.18	2,77	170	5,73	433	41	23	381	40	64	38	706	85	1,19	1,29	1
101	00.01.00	3,86	115	8,13	292	37	17	241	29	31	27	351	171	0,25	1,76	2
102	00.01.03	3,45	105	4,74	326	29	16	247	23	34	23	383	157	0,22	1,36	1
103	00.01.19	3,37	134	4,41	337	35	15	277	24	53	23	458	131	0,24	1,56	1
104	00.01.24	2,94	141	5,37	299	32	19	254	30	25	29	429	140	0,24	1,44	2
105	00.02.15	3,66	159	5,17	326	37	17	238	28	42	27	436	138	0,23	1,89	1
106	00.03.24	4,87	120	8,65	382	42	18	268	32	18	31	449	134	0,26	1,68	2
107	00.05.21	6,64	159	8,97	328	61	9	273	25	40	24	442	136	0,31	2,62	2
108	00.05.24	3,69	147	5,22	350	41	17	268	28	44	28	449	134	0,28	1,83	1
109	00.07.29	4,40	119	5,63	284	40	16	242	20	35	26	436	138	0,38	1,93	2
110	01.00.03	3,60	160	5,27	295	24	16	276	25	69	21	417	144	0,36	1,16	2
111	01.01.03	4,90	146	5,43	302	44	15	232	28	29	28	423	142	0,41	2,17	2
112	01.03.05	3,69	162	9,47	379	41	19	311	35	26	33	546	110	0,44	1,44	2
113	03.01.29	3,47	151	6,61	337	44	19	270	36	8	35	512	117	0,60	1,68	1
114	04.00.14	2,96	146	3,54	475	38	22	370	38	50	35	813	74	0,70	1,19	2
115	04.05.11	2,48	159	4,14	398	32	21	355	32	62	31	619	97	0,77	1,09	1
116	04.09.23	2,69	188	4,56	408	44	22	324	39	15	39	692	87	0,68	1,42	1
117	05.04.16	2,48	138	4,30	370	34	29	313	45	36	44	634	95	0,76	1,23	2
118	05.04.23	2,86	178	4,37	389	37	22	307	35	46	34	575	104	0,80	1,42	2
119	05.05.26	3,10	150	4,70	343	31	18	299	28	41	25	530	113	0,73	1,20	1
120	05.05.27	2,42	194	5,79	470	37	27	354	43	72	41	677	89	0,80	1,31	2
121	06.07.12	2,21	232	4,10	466	26	17	390	26	83	23	684	88	0,80	0,85	2
122	07.03.27	3,61	157	5,18	400	40	21	324	37	55	35	640	94	0,82	1,49	1
123	18.01.12	3,04	193	6,82	412	42	18	376	32	68	31	715	84	1,41	1,41	1
201	00.00.04	4,00	140	7,20	339	50	5	248	11	15	10	498	120	0,21	2,15	2
202	00.00.12	3,29	60	5,12	277	28	18	210	26	20	25	459	131	0,23	1,47	1
203	00.01.06	4,23	103	6,77	314	42	11	253	21	27	19	396	152	0,19	1,86	1
204	00.01.07	3,45	84	5,70	289	38	13	236	21	23	21	437	137	0,17	1,78	1
205	00.04.09	3,58	90	5,81	366	38	20	259	33	34	33	417	144	0,30	1,69	2
206	00.04.12	4,83	127	7,76	342	50	8	244	17	40	16	433	139	0,27	2,45	1
207	00.05.10	3,75	162	4,64	319	38	10	272	18	45	16	446	135	0,28	1,67	1
208	00.05.12	5,00	157	12,44	303	47	8	276	16	44	15	410	146	0,27	2,03	1
209	00.06.27	3,29	160	6,67	353	38	16	272	26	26	25	456	132	0,25	1,54	1
210	00.08.14	2,83	146	5,47	326	29	12	280	17	39	17	425	141	0,30	1,20	2
211	01.03.11	2,11	187	3,04	361	22	18	271	24	33	23	443	135	0,38	0,92	1
212	01.03.20	4,34	159	9,49	342	50	12	294	24	21	24	460	130	0,38	1,83	1
213	01.05.07	3,41	59	5,63	287	36	16	237	25	0	25	394	152	0,40	1,52	2
214	01.11.24	2,64	322	4,06	451	30	16	371	23	60	23	537	112	0,45	1,61	2
215	02.01.05	4,49	127	7,87	291	41	13	227	23	30	22	508	118	0,48	2,08	2
216	02.04.24	2,43	122	4,47	306	21	33	235	44	36	44	408	147	0,46	1,05	1
217	04.10.13	3,71	148	9,17	375	41	19	332	33	49	32	568	106	0,70	1,45	1
218	09.02.19	1,56	226	2,33	419	20	36	357	46	80	45	587	102	0,83	0,72	1
219	12.09.29	4,03	199	8,09	426	51	12	328	26	40	24	664	90	1,02	1,77	1

Tabelle 2 (Kollektiv B) Fortsetung:

1	14	15.1	15.2	15.3		Qp/Qs	Rp/Rs	Digital.
101	5	16	55	30	VSD	2,90	0,14	+
102	13	8	28	13	"	2,54	0,15	-
103	2	14	34	21	"	3,89	0,08	-
104	1	12	34	21	"	2,80	-	+
105	0	17	37	24	"	7,54	0,05	+
106	8	24	47	28	"	7,40	0,03	+
107	2	12	44	28	"	2,72	0,12	+
108	1	17	52	30	"	4,80	0,09	+
109	1	10	22	14	"	2,50	0,12	-
110	2	10	17	13	AVC	1,81	0,15	-
111	0	10	24	16	VSD	1,74	-	+
112	0	20	77	47	"	2,64	0,25	+
113	1	10	26	17	"	1,90	0,11	-
114	2	10	18	12	"	0,77	0,08	-
115	0	11	21	15	"	1,38	0,22	-
116	5	9	26	16	"	1,15	0,08	-
117	2	7	19	13	AVC	1,17	0,13	-
118	0	9	18	13	"	1,81	0,07	-
119	1	10	33	20	"	2,09	0,18	-
120	1	12	28	20	VSD	1,50	0,16	-
121	22	10	35	18	AVC	1,51	0,31	-
122	13	9	17	11	VSD	1,25	-	-
123	1	10	32	20	AVC	2,45	0,16	-
201	4	38	70	48	AVC	3,78	0,39	-
202	0	22	59	37	"	17,00	0,03	+
203	1	25	75	45	VSD	3,07	0,29	+
204	14	40	100	60	"	1,51	0,75	+
205	0	36	62	42	"	2,66	0,65	-
206	0	20	68	40	AVC	1,96	0,66	-
207	1	33	90	62	"	2,90	-	-
208	1	65	90	72	"	0,64	1,79	+
209	1	50	85	55	"	2,55	0,28	+
210	27	28	87	57	"	2,20	0,36	-
211	1	23	65	40	AVC	1,65	0,38	-
212	0	35	88	53	"	2,60	0,31	-
213	1	15	53	32	"	1,20	0,49	+
214	0	30	73	47	"	1,60	0,50	-
215	12	38	70	48	VSD	1,69	0,83	+
216	2	31	91	52	"	3,69	0,23	+
217	1	55	95	70	"	5,47	0,15	+
218	5	35	85	60	"	16,80	0,05	+
219	27	40	76	60	AVC	0,53	-	-

6.2. Literaturverzeichnis

Feigenbaum, H.: Echokardiographie.
(Deutsche Ausgabe)
perimed-Verlag,
Erlangen 1979.

Wells, P.N.T. (Hrsg.): Ultraschall in der medizinischen
Diagnostik.
Walter de Gruyter,
Berlin, New York 1980.

1. Belenkie, I., D.O. Nutter, D.W. Clark, D.B. McCraw, A.E. Raizner: Assessment of left ventricular dimensions and function by echocardiography. Amer. J. Cardiol. 31 (1973), 755.
2. Bhatt, D.R., J.B. Isabel-Jones, G.J. Villoria, M. Nakazawa, S.M. Yabek, R.A. Marks, P.D. and J.M. Jarmakani: Accuracy of echocardiography in assessing left ventricular dimensions and volume. Circulation 57 (1978), 699.
3. von Bibra, H., L. Castro, G. Autenrieth, A. McLeod, H.J. Gurland: The effects of arteriovenous shunts on cardiac function in renal dialysis patients - an echocardiographic evaluation. Clinical Nephrology 9 (1978), 205.

4. Björkhem, G.: Echocardiographic assessment of left ventricular function. Investigations of infants, children and teenagers without heart disease. Europ. J. Cardiol. 6 (1977), 83.
5. Björkhem, G.: Left ventricular function by m-mode echocardiography. In: Lundström, N.-R. (Ed.): Pediatric echocardiography - cross sectional, m-mode and doppler. Biomedical press, Elsevier/ North-Holland 1980; 295.
6. Bleicher, W., A.A. Schmaltz, E. Steil: Vergleichende Untersuchungen der mit verschiedenen Methoden gewonnenen Herzzeitintervalle und deren automatische Vermessung. Biomedizinische Technik Band 24, Ergänzungsband, Juni 1979, 92.
7. Clark, R.D., K. Korcuska, K. Cohn: Serial echocardiographic evaluation of left ventricular function in valvular disease, including reproducibility guidelines for serial studies. Circulation 62 (1980), 564.
8. Cooper, R., J.S. Karliner, R.A. O'Rourke, K.L. Peterson, G. Leopold: Ultrasound determination of mean fiber-shortening rate in man. Amer. J. Cardiol. 29 (1972), 257 (Abstract).
9. Cooper, R.H., R.A. O'Rourke, J.S. Karliner, K.L. Peterson, G. Leopold: Comparison of ultrasound and cineangiographic measurements of the mean rate of circumferential fiber shortening in man. Circulation 46 (1972), 914.
10. Crawford, M.H., D. Grant, R.A. O'Rourke, M.R. Starling, B.M. Groves: Accuracy and reproducibility of new m-mode echocardiographic recommendations for measuring left ventrikular dimensions. Circulation 61 (1980), 137.

11. Felner, J.M., B.A. Blumenstein, R.C. Schlant, A.D. Carter, B.N. Alimurung, M.J. Johnson, S.W. Sherman, M.W. Klicpera, M.H. Kutner, L.W. Drucker: Sources of variability in echocardiographic measurements. Amer. J. Cardiol. 45 (1980), 995.
12. Fernandes, R., G. Björkhem, N.-R. Lundström: Echocardiography in diagnosis of pulmonary hypertension. In: Lundström, N.-R. (Ed.): Pediatric echocardiography - cross sectional, m-mode and doppler. Biomedical press, Elsevier/North-Holland 1980; 327.
13. Fernandes, R., G. Björkhem, N.-R. Lundström: Echocardiographic estimation of pulmonary artery pressure in infants and children with congenital heart disease. Europ. J. Cardiol. 11 (1980), 473.
14. Fisher, E., I. DuBrow, A. Hastreiter: Simplified estimation of left ventricular contractility in infants and children. Circulation 46, Suppl. II (1972), 150.
15. Fortuin, N.J., W.P. Hood, E. Craige: Evaluation of left ventricular function by echocardiography. Circulation 46 (1972), 26.
16. Friedman, M.J., D.J. Sahn: Computer-assisted analysis of m-mode echocardiogram: is it a "gold mine"?. Pediat. Cardiology 1 (1979), 47.
17. Garcia, E.J., T. Riggs, S. Hirschfeld, J. Liebman: Echocardiographic assessment of the adequacy of pulmonary arterial banding. Amer. J. Cardiol. 44 (1979), 487.
18. Gibson, D.G.: Assessment of left ventricular function in man by non-invasive techniques. In: Oliver, M.F. (Ed.): Modern trends in cardiology - 3 . Butterworths, London and Boston 1975; 247.

19. Gibson, D.G.: Clinical assessment of left ventricular function. In: Hamer, J. (Ed.): Recent advances in cardiology. 7 (1977) Churchill Livingstone, Edinburgh, London, New York ;315.
20. Gibson, D.G., D. Brown: Measurement of instantaneous left ventricular dimension and filling rate in man, using echocardiography. Brit. Heart J. 35 (1973), 1141.
21. Gibson, D.G., D.J. Brown: Measurements of peak rates of left ventricular wall movement in man; Comparison of echocardiography with angiography. Brit. Heart J. 37 (1975),677.
22. Gibson, D.G., D.J. Brown: Assessment of left ventricular systolic function in man from simultaneous echocardiographic and pressure measurements. Brit. Heart J. 38 (1976), 8.
23. Gutgesell, H.P., M. Paquet, D.F. Duff, D.G. McNamara: Evaluation of left ventricular size and function by echocardiography; Results in normal children. Circulation 56 (1977), 457.
24. Gutgesell, H.P.: Echocardiographic estimation of pulmonary artery pressure in transposition of the great arteries. Circulation 57 (1978), 1151.
25. Hirschfeld, S., R. Meyer, D.C. Schwartz, J. Korfhagen, S. Kaplan: The echocardiographic assessment of pulmonary artery pressure and pulmonary vascular resistance. Circulation 52 (1975), 642.
26. Jacob, R., A. Kämmereit, I. Medugorac, M.F. Wendt-Gallitelli: Maximalgeschwindigkeit der lastfreien Verkürzung (V_{max}), myokardiale Leistungsfähigkeit und "Kontraktilitätsindizes" beim hypertrophierten Myokard. Z. Kardiol. 65 (1976), 392.
27. Jarmakani, M.M., T.P. Graham, R.V. Canent, M.S. Spach, M.P. Capp: Effect of site of shunt on left heart--volume characteristics in children with ventricular septal defect and patent ductus arteriosus. Circulation 40 (1969), 411.

28. Karliner, J.S., J.H. Gault, D. Eckberg, C.B. Mullins, J. Ross: Mean velocity of fiber shortening; A simplified measure of left ventricular myocardial contractility. Circulation 44 (1971), 323.
29. Kaye, H.H., M. Tynan, S. Hunter: Validity of echocardiographic estimates of left ventricular size and performance in infants and children. Brit. Heart J. 37 (1975), 371.
30. Kotler, M.N., B.L. Segal, G. Mintz, W.R. Parry: Pitfalls and limitations of m-mode echocardiography. Amer. Heart J. 94 (1977), 227.
31. Kugler, J.D., H.P. Gutgesell, M.R. Nihill: Instantaneous rates of left ventricular wall motion in infants and children; Computerassisted determination from single--cycle echocardiograms. Pediatr. Cardiology 1 (1979), 15.
32. Lapido, G.O.A., F.G. Dunn, T.H. Pringle, B. Bastian, T.D.V. Lawrie: Serial measurements of left ventricular dimensions by echo cardiography; Assessment of week--to-week, inter- and intraobserver variability in normal subjects and patients with valvular heart disease. Brit. Heart J. 44 (1980), 284.
33. Lewis, R.P., S.E. Rittgers, W.F. Forester, H. Boudoulas: A critical review of the systolic time intervals. Circulation 56 (1977), 146.
34. McDonald I.G., H. Feigenbaum, S. Chang: Analysis of left ventricular wall motion by reflected ultrasound; Application to assessment of myocardial function. Circulation 46 (1972), 14.
35. Parisi, A.F., P.F. Moynihan, E.D. Folland: Echocardiographic evaluation of left ventricular function. Medical Clinics of North America 64 (1980), 61.
36. Parker, J.O., R.B. Case: Normal left ventricular function. Circulation 60 (1979), 4.

37. Raff, U., W. Stauber, G. Kissling: Die Bedeutung des Quotienten dp/dt_{max}: IP für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Herzens. Z. Kardiol. 63 (1974), 1127.
38. Riggs, T., S. Hirschfeld, G. Borkat, J. Knoke, J. Liebman: Assessment of the pulmonary vascular bed by echocardiographic right ventricular systolic time intervals. Circulation 57 (1978), 939.
39. Ross, J., K.L. Peterson: On the assessment of cardiac inotropic state. Circulation 47 (1973), 435.
40. Saffer, S.I., J.V. Nixon, D.J. Mishelevich: Simple method for computer-aided analysis of echocardiograms. Amer. J. Cardiol. 38 (1976), 34.
41. Sahn, D.J., W.J. Deely, A.D. Hagan, W.F. Friedman: Echocardiographic assessment of left ventricular performance in normal newborns. Circulation 49 (1974), 232.
42. Sahn, D.J., Y. Vaucher, D.E. Williams, H.D. Allen, S.J. Goldberg, W.F. Friedman: Echocardiographic detection of large left to right shunts and cardiomyopathies in infants and children. Amer. J. Cardiol. 38 (1976), 73.
43. Sahn, D.J., A. DeMaria, J. Kisslo, A. Weyman: Recommendations regarding quantitation in m-mode echocardiography: Results of a survey of echocardiographic measurements. Circulation 58 (1978), 1072.
44. Sandor, G.G.S., K.R. Bloom, T. Izukawa, M.W.H. Patterson, R.D. Rowe: Noninvasive assessment of left ventricular function related to serum digoxin levels in neonates. Pediatrics 65 (1980), 541.
45. Sasayama, S., H. Kotoura: Echocardiographic approach for the clinical assessment of left ventricular function: - The analysis of end-systolic pressure (wall stress)-diameter relation and force-velocity relation of ejecting ventricle. Japan. Circ. J. 43 (1979), 357.

46. Schinz, A.: Der Einfluß von Herzfrequenz, Vor- und Nachlast auf echokardiographisch bestimmbare Kontraktilitätsindizes des linken Ventrikels. Herz/Kreisl. 9 (1977), 258.
47. Schmaltz, A.A., R.P. Heil, E. Steil, M. Teufel: Grenzen der M-mode-Echokardiographie in der Diagnostik kongenitaler Herzfehler beim kritisch-kranken Neugeborenen. Herz 5 (1980) 213.
48. Silverman, N.H., A.R. Snider, A.M. Rudolph: Evaluation of pulmonary hypertension by m-mode echocardiography in children with ventricular septal defect. Circulation 61 (1980), 1125.
49. Spooner, E.W., B.L. Perry, A.M. Stern, J.M. Sigmann: Estimation of pulmonary/systemic resistance ratios from echocardiographic systolic time intervals in young patients with congenital or acquired heart disease. Amer. J. Cardiol. 42 (1978), 810.
50. St. John Sutten, M.G., D.J. Hagler, A.J. Tajik, E.R. Giuliani, J.B. Seward, D.G. Ritter, E.L. Ritman: Cardiac function in the normal newborn: Additional information by computer analysis of the m-mode echocardiogram. Circulation 57 (1978), 1198.
51. Stefan, G., E. Most: Echocardiographie: Methodik - prakt. Anwendung - Interpretation. Thieme, Stuttgart, New York 1981.
52. Upton, M.T., D.G. Gibson: The study of left ventricular function from digitized echocardiograms. Progr. Cardiovasc. Diseases 20 (1978), 359.

Lebenslauf

Am 27.06.1952 wurde ich, Dieter Bönhof, als Sohn des Hans-Joachim und der Dorkas Bönhof in Crailsheim geboren.

1959 wurde ich in der Grundschule in Crailsheim eingeschult. Ab 1963 besuchte ich das Gymnasium in Crailsheim und die evangelischen Seminare in Schöntal/Jagst und zuletzt in Urach/Wasserfall, wo ich 1971 das Abitur ablegte.

Nach einem halbjährigen Praktikum begann ich im Sommersemester 1972 mit dem Studium der Theologie an der Universität in Tübingen.

Im Wintersemester 1977 nahm ich das Studium der Medizin an der Hochschule in Ulm auf.

Zum Sommersemester 1980 wechselte ich an die Universität in Tübingen, wo ich meine Dissertation verfasste.

Am 18.10.1983 schloß ich diesen Studiengang nach dem Praktischen Jahr im Bereich der Universität in Freiburg/Breisgau mit dem Bestehen der Ärztlichen Prüfung ab.